

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Электрооборудование и электропривод механизма напора экскаватора ЭКГ-15	

УДК 621.31:62-83-52:621.879

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА1	Хаитов ШавкатДониёр угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Г. И.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ледовская А.М.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением Ю.Н. Дементьев

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
З-5ГЗА1	ХаитовуШавкатуДониёр угли

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод механизма напора экскаватора ЭКГ-15	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Экскаватор одноковшовый ЭКГ – 15 режим работы – циклический. Требования к механизму напора: диапазон регулирования D=1:5, при плавном регулировании скорости в момент пуска и торможения.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и современное состояние электрооборудования экскаваторов, постановка задачи; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема; выбор оборудования и расчет системы управления электропривода механизма подъема; исследование работы электропривода механизма подъема экскаватора ЭКГ 15 с помощью имитационной модели.</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Структурная схема электропривода напораэкскаватора ЭКГ 15 Графики переходных процессов напора</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Попова Светлана Николаевна</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Ледовская Анна Михайловна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Заключение</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>05.04.2018г..</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Г. И.	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5ГЗА1	Хаитов ШавкатДониёр угли		05.04.2018г.

РЕФЕРАТ

ГОРНОДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ОДНОКОВШОВЫЙ ЭКСКАВАТОР, ПРИВОД МЕХАНИЗМА НАПОРА, РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.

Объектом исследования является привод механизма напора экскаватора.

Цель работы - разработка электропривода механизма напора экскаватора в соответствии с требованиями технического задания и исследование его работы методом моделирования на ЭВМ.

В данном дипломном проекте был произведён расчёт и выбор силового оборудования для электропривода механизма напора экскаватора карьерного гусеничного ЭКГ – 15.

В ходе работы был разработан электропривод, обеспечивающий следующие показатели качества:

- Плавность пуска
- Точность регулирования
- Надёжность электропривода

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, графическом редакторе Microsoft Visio 2010. Расчёты производились с помощью пакета прикладных программ MathCAD 14 Professional. Моделирование произведено в программной среде MATLAB. Презентация в программной среде Microsoft Power Point. В работе рассмотрены вопросы техники безопасности и экологичности проекта, в экономической части данного проекта рассмотрен комплекс работ, которые необходимо провести, чтобы ввести в эксплуатацию электропривод напора ЭКГ 15.

Содержание	
РЕФЕРАТ	4
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	9
1.1 Назначение, описание и техническая характеристика одноковшового карьерного экскаватора ЭКГ-15	9
1.2 Технологический процесс. Требования к электроприводу механизма	16
2. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА	22
3. РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭКСКАВАТОРА В СИСТЕМЕ ТПВ-Г-Д	28
3.1 Схема электрическая принципиальная	30
3.2 Цепь обмотки возбуждения генератора	32
3.2.1 Выбор соединения секций обмоток возбуждения генератора	32
3.3 Выбор тиристорного возбудителя генератора	33
3.4 Расчет параметров трансформатора возбудителя генератора	34
3.5 Расчетные параметры тиристорного возбудителя	34
3.6 Расчёт параметров цепи возбуждения генератора	35
4. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДВИГАТЕЛЯ	37
5. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	38
5.1 Расчет параметров якорной цепи	38
6 ОБЛАСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	40
7. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАПОРА ЭКСКАВАТОРА	46
7.1 Определение дополнительных параметров механизма напора	46
7.2 Определение приведенных моментов инерции элементов кинематической цепи привода	47
7.3 Параметры канатной передачи	48
7.4 Резонансная частота механической системы	49

8 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАПОРА	50
9 СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ	51
9.1 Оптимизация контура тока в двухконтурной САУ электропривода по схеме ТПВ-Г-Д	52
9.2 Оптимизация контура напряжения в двухконтурной САУ электропривода по схеме ТПВ – Г – Д	53
9.3 Настройка САУ электропривода напора на имитационной модели	56
9.4 Исследование электропривода напора на имитационной модели	56
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	64
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
10.1 Организация и планирование ПНР	65
10.2 Определение стоимости пуско-наладочных работ	69
10.3 Расчет расходов при эксплуатации электропривода	71
10.3.1 Силовая электроэнергия	72
10.3.2 Расчет амортизационных отчислений	73
10.3.3 Расчет налога на имущество.	73
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	75
11 Социальная ответственность	77
11.1 Производственная безопасность	77
11.2 Охрана окружающей среды	82
11.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	85
11.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	86
Заключение	88
Conclusion	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	92

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее прогрессивным и экономичным способом добычи полезных ископаемых является открытый способ, при котором производительность труда в несколько раз выше, а себестоимость добычи ниже, чем при подземной разработке месторождений. В настоящее время объем добычи полезных ископаемых на карьерах значительно превышает объем добычи в шахтах.

Основным средством механизации работ на карьерах являются одноковшовые экскаваторы. Эти машины применяются в карьерах черной и цветной металлургии, в промышленности строительных материалов, а также на земляных работах крупных строительстве.

Современный одноковшовый экскаватор – сложная и высокопроизводительная машина, оснащенная регулируемыми электроприводами большой мощности. Суммарная мощность электрических машин экскаватора очень велика и достигает нескольких тысяч киловатт у крупных экскаваторов. Системы управления электроприводами отдельных механизмов экскаватора отличаются значительным разнообразием как применяемых в них элементов, так и процессов управления, лежащих в основе их управления. В настоящее время, в связи с высоким развитием полупроводниковой преобразовательной техники, электрооборудование главных электроприводов механизмов крупных экскаваторов построено с применением тиристорных преобразователей для возбуждения генераторов и электродвигателей.

Одноковшовые экскаваторы предназначены для работы в весьма тяжелых условиях с разнопеременной нагрузкой, тряской, вибрацией, ударами, большой запыленности, повышенной влажности, при широких изменениях температуры окружающей среды. Электроприводы основных механизмов работают в интенсивном повторно-кратковременном режиме, с большой частотой включений, при изменяющейся в широких пределах нагрузкой на валу двигателей, с систематическими перегрузками электроприводов, механизмов, участвующих в процессе черпания грунта, при высокой вероятности тяжелых перегрузок вплоть до стопорения этих электроприводов.

Поэтому к механическому и электрическому оборудованию экскаватора предъявляются жесткие требования по вибростойкости, допустимому числу включений, гарантийному сроку безотказной работы, особые требования предъявляются к статическим и динамическим характеристикам механизмов экскаваторов.

В настоящее время на открытых горных работах работает большое количество типов и моделей экскаваторов, выполняющих громадный объем весьма трудоемких земляных работ,

Одноковшовые карьерные экскаваторы с оборудованием прямой лопаты являются основными машинами, применяемыми на открытых горных разработках, как наиболее удовлетворяющие требованиям работы в самых тяжелых горно-геологических и климатических условиях.

Одноковшовые карьерные экскаваторы с оборудованием прямой лопаты применяются для разработки грунтов различных категорий, начиная от самых легких и, кончая скальными породами, которые перед разработкой их экскаватором размельчают при помощи буровзрывных работ.

Так в настоящее время одноковшовый экскаватор является одной из самых сложных и наряду с этим одной из самых перспективных машин применяемых для разработки горных пород открытым способом.

Для решения задач по улучшению качества машин и повышению их надежности необходимо использовать более совершенные методы расчета и исследования. Внедрение в практику расчета машин вычислительной техники позволяет в настоящее время проводить исследования в области статики и динамики методами численного моделирования, и более точно определять действующие на узлы машин статические и динамические нагрузки. Кроме того, имитационное численное моделирование позволяет учесть ряд нелинейностей, которыми обладает реальная система. Все это способствует созданию автоматизированной системы регулируемого электропривода главных механизмов одноковшового экскаватора с наиболее оптимальными параметрами.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Назначение, описание и техническая характеристика одноковшового карьерного экскаватора ЭКГ-15

Экскаваторами называются землеройные машины, предназначенные для копания и перемещения горной массы в отвал или для погрузки в транспортные средства. ЭКГ – 15 относится к большой группе одноковшовых экскаваторов периодического действия. Одноковшовый экскаватор ЭКГ-15 относится к группе специальных землеройных машин циклического действия, применяемых на земляных работах для копания и перемещения горной породы. ЭКГ-15 состоит из рабочего оборудования, поворотной платформы с установленными на ней механизмами и ходовой тележки (рис.1.). Экскаватор имеет рабочее оборудование прямой лопаты и гусеничное ходовое оборудование.

Рабочее оборудование включает: относительно короткую стрелу, ковш объемом 15м^3 и внутреннюю однобалочную рукоять ковша. Стрела служит основанием для всех узлов рабочего оборудования. Нижний конец стрелы крепится к поворотной платформе, а верхний с помощью блоков поддерживается на весу канатами.

Механизмы на поворотной платформе, за исключением напорной лебедки, закрыты кузовом. Съемные секции крыши кузова обеспечивают доступ ко всем механизмам при проведении ремонтных работ с использованием грузоподъемных средств.

Рукоять ковша закреплена одним концом в стреле с помощью седлового подшипника допускающего вращательное и поступательное движение рукояти. Второй конец снабжен устройством для жесткого крепления ковша.

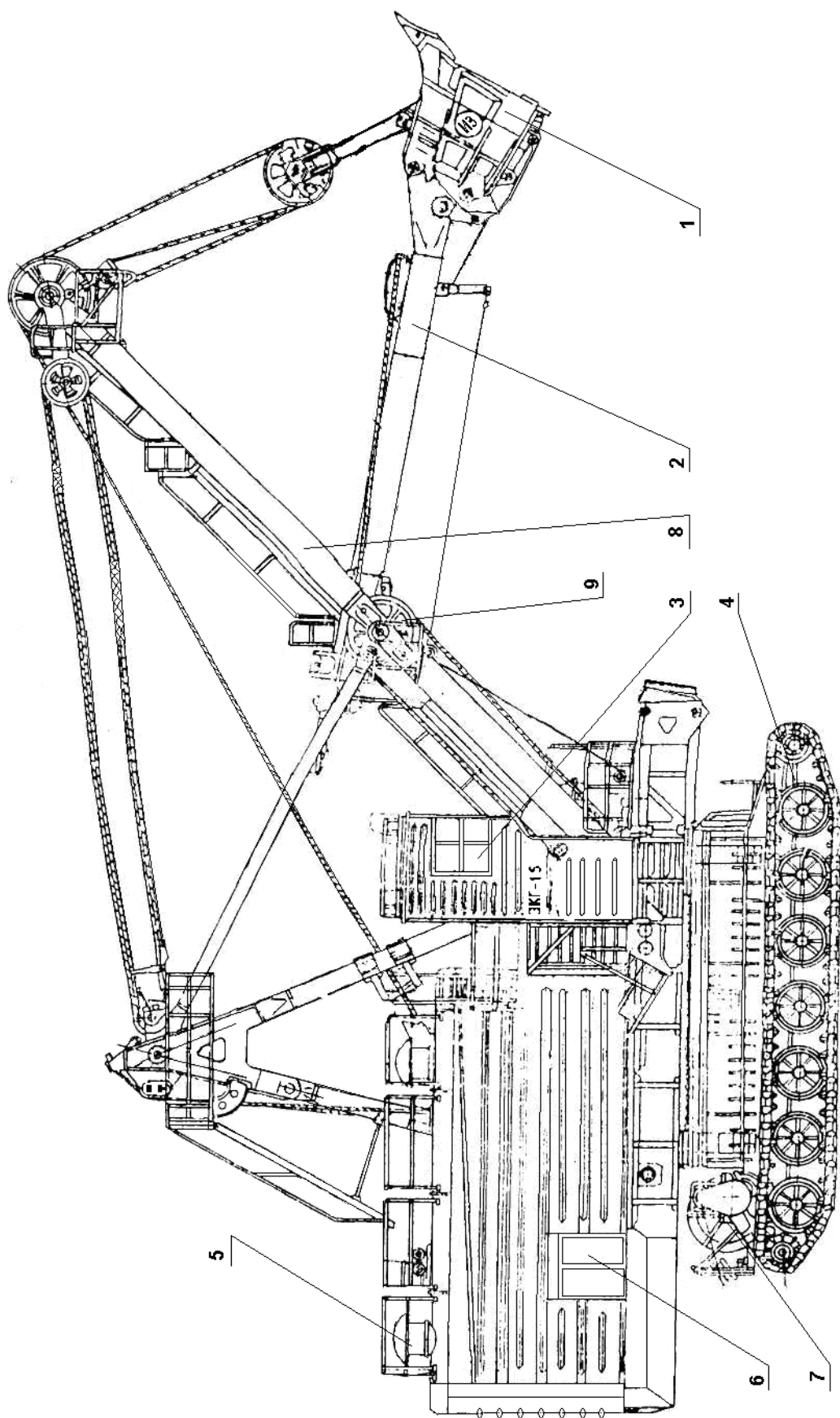


Рисунок 1. Общий вид экскаватора ЭКТ - 15

Поворотная платформа опирается через ролики опорно-поворотного устройства на раму ходовой тележки, относительно которой платформа может поворачиваться на полный угол в горизонтальной плоскости.

Главные механизмы экскаватора ЭКГ-15 (подъема, напора, поворота и открывания днища ковша) приводятся в действие электродвигателями постоянного тока, вспомогательные механизмы - двигателями переменного тока.

Электродвигатели постоянного тока главных механизмов питаются от соответствующих генераторов четырехмашинного преобразовательного агрегата по системе генератор - двигатель, электродвигатели переменного тока вспомогательных приводов - от понижающего трансформатора.

Электрооборудование главных электроприводов построено с применением тиристорных преобразователей для возбуждения генераторов и электродвигателей.

Расположение основного электрооборудования на поворотной платформе представлено на рис.2.

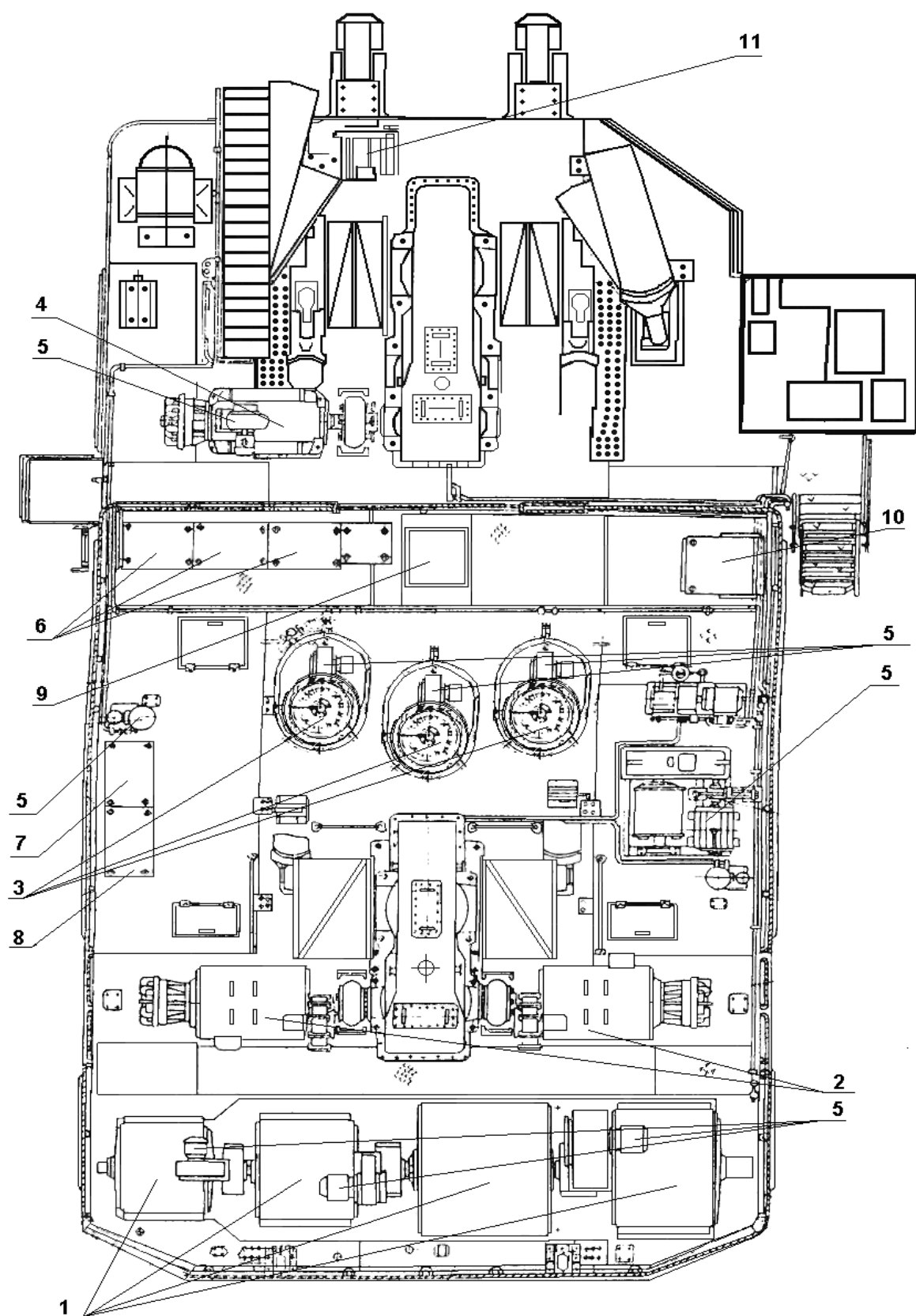


Рисунок 2. Общий вид поворотной платформы ЭКГ-15.

Здесь установлены главный преобразовательный агрегат 1, электродвигатели подъема 2, электродвигатели поворота 3, электродвигатель напора 4, вспомогательные электродвигатели 5, шкаф управления главными электроприводами 6, шкаф управления возбуждением синхронного двигателя 7, шкаф управления вспомогательными электроприводами 8, кольцевой токоприемник 9, высоковольтное распределительное устройство 10, электродвигатель открывания днища ковша 11, трансформатор освещения 380/220В 12, трансформатор возбуждения синхронного двигателя 13, трансформатор цепей управления 14.

На нижней раме расположены два ходовых электродвигателя, электромагниты, электродвигатель кабельного барабана.

Примечания:

- а.) Основной ковш предназначен для разработки горных пород IV категории с объемным весом в целике не более 3-3,5 т/м.
- б.) Расчетная продолжительность рабочего цикла определена при разработке горных пород не выше IV категории, угле поворота платформы, равном 90 градусов, выгрузке в отвал и высоте копания, не выше напорной оси.

Технические параметры экскаватора представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические параметры экскаватора

№ П.П.	<i>Показатели</i>	ЭКГ-15
1.1	Емкость ковша для тяжелых грунтов, м ³	15
1.2	Продолжительность цикла при работе в отвале с поворотом на 90 градусов, сек.	28
1.3	Скорость передвижения, км/ч	0,55
1.4	Наибольший подъем, преодолеваемый экскаватором в плотных грунтах, град.	12
1.5	Радиус черпания максимальный, м	22.6
1.6	Высота черпания максимальная, м	16.4
1.7	Радиус разгрузки максимальный, м	20
1.8	Высота разгрузки максимальная, м	10
1.9	Среднее давление на грунт при передвижении, кг·с/см ²	2
2	Сетевой электродвигатель, шт.	1
2.1	Тип	СДЭ-2-16-46-6
2.2	Мощность, кВт	1250
2.3	Напряжение подводимого тока, В	6000
3	Электродвигатель подъема, шт.	2
3.1	Тип	МПЭ-950-900-2М
3.2	Мощность, кВт	500
4	Электродвигатель поворота, шт.	3
4.1	Тип	ДВЭ-816У2
4.2	Мощность, кВт	150
5	Электродвигатель напора, шт.	1
5.1	Тип	ДЭ-816У1
5.2	Мощность, кВт	200
6	Электродвигатель хода, шт.	2
6.1	Тип	ДЭ-812У1
6.2	Мощность, кВт	90

7	Электродвигатель открывания днища ковша, шт.	1
7.1	Тип	Д-32
7.2	Мощность, кВт	12
8	Электродвигатель кабельного барабана, шт.	1
8.1	Тип	Д-12
8.2	Мощность, кВт	3
9.1	Масса экскаватора, тонн	677
9.2	Длина стрелы, м	18
9.3	Длина рукоятки, м	13.58
9.4	Габаритная высота крыши кузова, м	8.4
9.5	Просвет под поворотной платформой, м	3.33
9.6	Ход рукоятки, м	4.8
9.7	Расстояние от оси пяты стрелы до оси вращения экскаватора, м	3.2
9.8	Длина гусеничного хода, м	12,25-13,08
9.10	Высота до оси пяты стрелы, м	4,85
9.11	Ширина гусеничного хода, м	9,5
9.12	Ширина гусеничной цепи, м	0,9

1.2 Технологический процесс. Требования к электроприводу механизма

Технологическим процессом работы экскаватора с оборудованием прямой лопаты является копание груза выше уровня стояния машины с последующей выгрузкой в транспортные средства или отвал. Рабочее оборудование прямой лопаты экскаватора ЭКГ-15 конструктивно приспособлено для выемки породы выше уровня стояния экскаватора. Жесткое крепление ковша позволяет работать как в отвал, так и с погрузкой в транспортные средства.

Рабочий цикл одноковшового экскаватора состоит из последовательно выполняемых операций: опускания ковша в забой; копания, во время которого производится отделение грунта от массива с наполнением ковша и его подъемом вверх; поворота платформы к месту разгрузки ковша; открывания днища ковша и разгрузки; возвращения в забой с закрыванием днища ковша.

Во время копания сочетаются действия подъемного и напорного механизмов. Величина снимаемого слоя грунта (стружки) и заполнение ковша регулируются увеличением или снижением усилия напора, вследствие чего рукоять с ковшом подается в забой или выдвинется из него.

Транспортировка ковша на выгрузку и порожнего в забой осуществляется поворотным механизмом. При этом сочетают одновременную работу подъемного (изменение высоты подъема ковша) и напорного (изменение вылета рукояти ковша) механизмов.

Порода разгружается из ковша под действием собственного веса при открывании днища ковша с помощью соответствующего механизма. Однако иногда при выполнении этой операции для более равномерного распределения грунта по кузову загружаемого транспортного средства включают в работу поворотный и напорный механизмы.

Таким образом, все операции рабочего цикла экскаватора неизбежно сопровождаются сочетанием одновременной работы нескольких механизмов экскаватора и требуют от машиниста высокой квалификации.

На рисунке 3 представлены расчетные нагрузочные диаграммы механизмов экскаватора с оборудованием механической лопаты

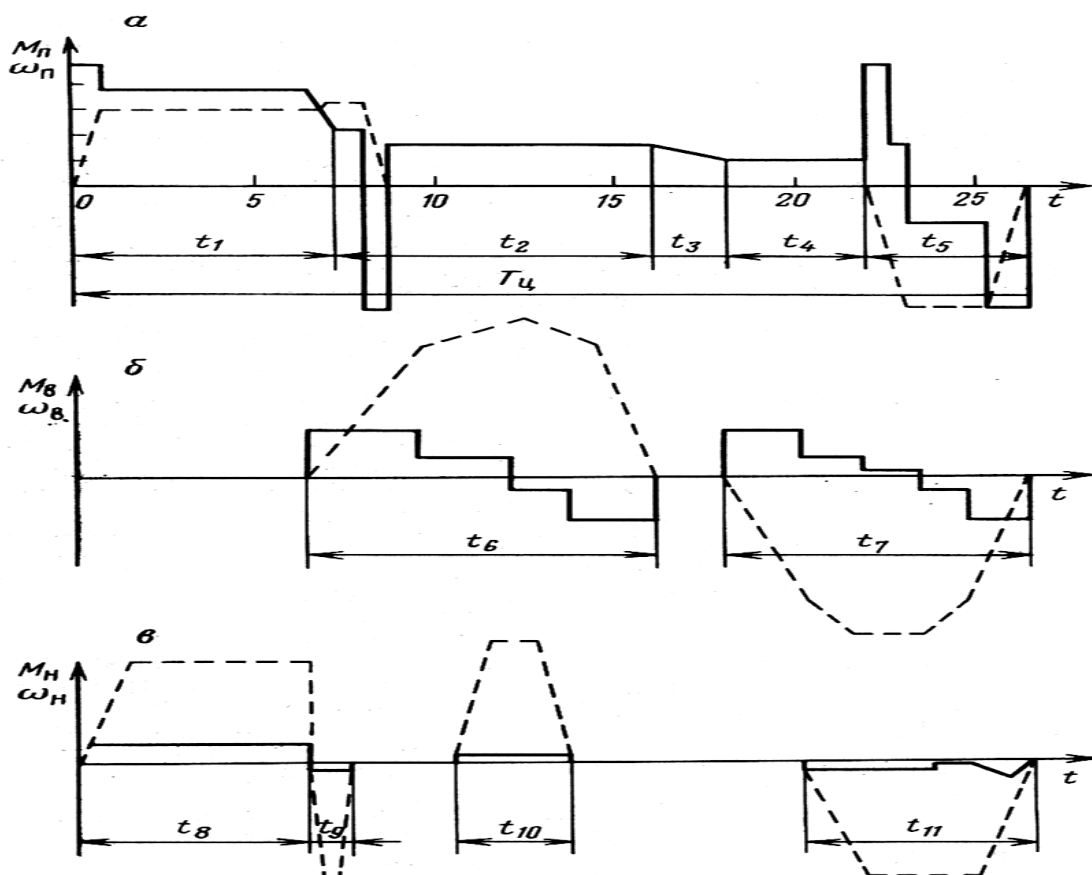


Рисунок 3. Нагрузочные и скоростные диаграммы механизмов экскаватора с оборудованием механической лопаты: *а* – подъемного механизма; *б* – поворотного механизма; *в* – напорного механизма

На рисунке 3, *а* сплошной линией показана нагрузочная диаграмма подъемного механизма за один цикл. Пунктирной линией показана диаграмма частоты вращения подъемного двигателя. Работу подъемного механизма можно разбить на следующие периоды: t_1 – копание; t_2 – подъем груженого ковша и равновесное удерживание его на определенной высоте при повороте

платформы экскаватора на разгрузку; t_3 – разгрузка; t_4 – равновесное состояние порожнего ковша во время поворота к месту копания после разгрузки; t_5 – опускание порожнего ковша с применением торможения.

На рисунке 3, б представлены диаграммы поворотного механизма за один рабочий цикл. Здесь имеют место следующие рабочие периоды: t_6 – разгон и торможение поворотной платформы с груженым ковшом; t_7 – разгон и торможение поворотной платформы с порожним ковшом. Длительность поворотных движений составляет до 70 – 80% общего времени цикла, т.е. определяет собой в значительной мере производительность экскаватора.

На рисунке 3, в представлены диаграммы напорного механизма за один цикл. Рабочий цикл привода напора состоит из следующих периодов:

t_8 – напор при копании; t_9 – возврат рукояти с груженым ковшом назад; t_{10} – перемещение рукояти с груженым ковшом вперед при повороте на разгрузку; t_{11} – вытягивание рукояти при подаче порожнего ковша в забой.

Приведенные нагрузочные диаграммы основных рабочих механизмов построены на основании теоретических расчетов. Хотя, действительная нагрузка механизмов несколько отличается от теоретической. Вследствие изменения сопротивления грунта и других факторов, общий характер нагрузочных диаграмм остается примерно таким же, какой представлен на рисунке 3.

Наиболее сложной является операция заполнения ковша породой (экскавация), потому что: разрабатываемые породы имеют различные физико-механические свойства (часто грунты бывают неоднородными даже в пределах одной стружки), наблюдение за процессом непосредственного внедрения ковша в разрабатываемый грунт можно вести только косвенно - по скорости движения и характеру заполнения его грунтом; основные рабочие механизмы (подъемный и напорный) оказываются максимально и неравномерно засужеными.

При экскавации движению рабочих механизмов препятствуют силы сопротивления (силы резания при копании, вес ковша и поднимаемого груза,

силы трения в передачах и др.). Эти статические силы создают на валу рабочего механизма и электродвигателя пик называемый момент нагрузки, или статический момент M_c . Статический момент может меняться в больших пределах и зависит от множества случайных факторов: структуры грунта, габаритов взорванной массы, квалификации машиниста и т. д.

В процессе экскавации на валу двигателя рабочего механизма, кроме статического момента, возникают с изменением скорости движения динамические нагрузки.

Таким образом, режимы работы основных рабочих механизмов одноковшового экскаватора характеризуются большим числом включений в течение цикла, резкими изменениями нагрузки, частым реверсированием и механическими толчками. Поэтому экскаваторный привод должен иметь легкое и плавное управление, развивать большой пусковой момент, обладать повышенной перегрузочной способностью, иметь широкий диапазон регулирования скорости и быть реверсивным.

Кроме того, при разработке однородных и неоднородных грунта для механизмов подъема и напора характерна возможность принудительной остановки во время нормальной работы, например при встрече ковша с непреодолимым препятствием. Этот режим работы, считающийся для большинства машин аварийным, является нормальным для одноковшовых экскаваторов. Такой режим работы называется работой «на упор» или стопорным режимом.

Стопорный режим работы механизма предъявляет специфическое требование к электродвигателю рабочего механизма экскаватора. Для предотвращения поломки механизма при статических перегрузках и резких стопорениях, вызывающие значительные динамические перегрузки, усилие на ковше, а, следовательно, движущий момент на валу рабочего механизма и ток двигателя должны быть ограничены какой-то безопасной величиной преобразовательным моментом или предельно допустимым током двигателя. При стопор

ном режиме кинетическая энергия, накопленная к моменту стопорения во вращающихся частях механизма, преобразуется в потенциальную энергию упругих элементов конструкции и канатов, вызывая их упругую деформацию, то есть возникают значительные динамические нагрузки, толчки и удары. Стопорный режим работы механизма предъявляет особые требования к электроприводам главных механизмов экскаватора. При стопорении электропривод должен обеспечивать надежную безаварийную работу как самого рабочего механизма, так и электродвигателей. Для этого в стопорном режиме усилие на ковше, вращающий момент и ток двигателя должны быть ограничены до безопасной величины.

С другой стороны, для сохранения наибольшей производительности экскаватора желательно, чтобы двигатель работал с постоянной наибольшей частотой вращения до момента начала стопорения, т.е. до тех пор, пока нагрузка не возрастет до опасного предела.

Способ ограничения момента электрический, когда при возрастании нагрузки свыше стопорного значения производится автоматическое воздействие на систему управления двигателем. В настоящее время основным средством ограничения момента является использование привода с экскаваторной характеристикой. На рисунке 4 в виде кривой 1 представлена идеальная экскаваторная механическая характеристика, состоящая из горизонтального прямолинейного участка (рабочий участок) и вертикального (крутопадающего) участка, в виде кривой 2 представлена рабочая экскаваторная механическая характеристика. Рабочая механическая характеристика предусматривает, чтобы изменение нагрузки на ковше сопровождалось вполне определенным оптимальным изменением скорости подъемного движения. Это делается для того, чтобы машинист экскаватора мог иметь возможность чувствовать момент наступления стопорения, чтобы своевременно изменить режим работы экскаватора.

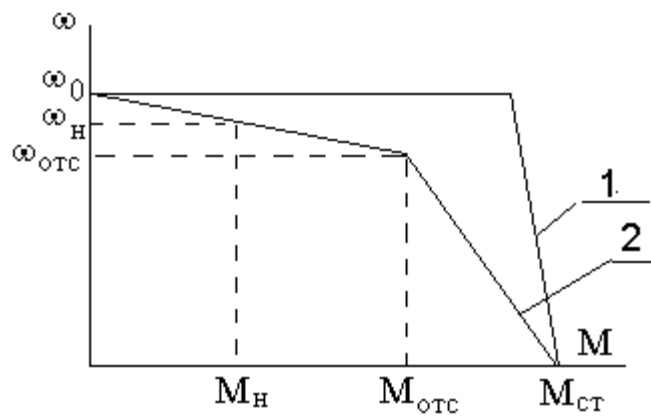


Рисунок 4. Экскаваторная механическая характеристика:

1 – идеальная; 2 – рабочая.

Электропривод механизма напора должен удовлетворять в первую очередь требованиям, вытекающим из условий работы подъемного механизма, основные из которых следующие:

- скорость при разгоне и реверсировании должна изменяться достаточно равномерно для обеспечения большей средней скорости;
- при весьма большом возрастании нагрузки вращающийся момент привода должен заметно превышать максимальный расчетный статический момент привода при работе на упор;
- диапазон регулирования скорости должен быть достаточно широким;
- привод должен иметь для различных положений командоконтроллера практически выполнимые механические характеристики.

2. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Механическая часть электромеханической системы включает в себя все связанные движущиеся массы: эквивалентного двигателя, передаточного устройства и исполнительного механизма. К ротору двигателей при определенной скорости приложен электромагнитный момент, под действием которого механическая часть приводится в движение и рабочий орган (ковш) совершает механическую работу.

Механическая часть электропривода напора представляет собой систему связанных масс, движущихся с различными скоростями вращательно или поступательно. При нагружении элементы системы (валы, зубчатые зацепления, канаты и т. п.) деформируются, так как механические связи не являются абсолютно жесткими. При изменениях нагрузки массы имеют возможность взаимного перемещения, которое при данном приращении нагрузки определяется жесткостью связи.

Массы элементов и жесткости элементарных связей различны. Определяющее влияние на движение системы оказывают наибольшие массы и наименьшие жесткости связей.

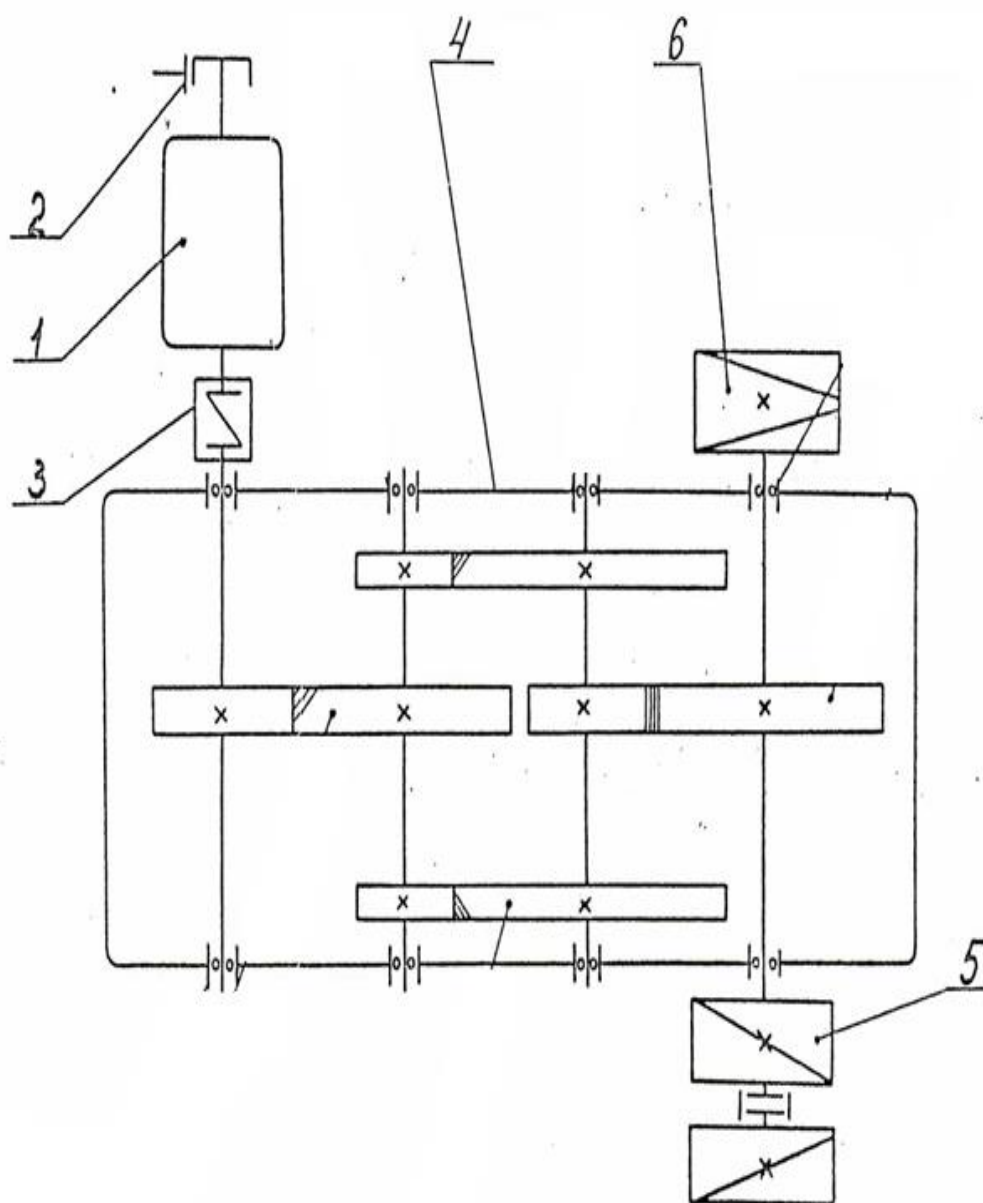
Механизм напора является независимым и одним из главных механизмов экскаватора. Наиболее характерными операциями механизма напора является снятие стружки и возврат ковша, которые сопровождаются наибольшими значениями нагрузок на привод напора, и на приводной двигатель преобразовательного агрегата. В следствии неоднородности разрабатываемой породы нагрузка носит пиковый характер и временами значительно превышает номинальную. В отдельных случаях двигатель напора доходит до полного стопорения. Характерной операцией является также перемещение ковша при повороте в забой. В этой части цикла, вследствие наличия на валу двигателя активного сопротивления, двигатель переходит в генераторный режим.

Преимуществом независимого напорного механизма является лучшая маневренность рабочего оборудования.

В состав механизма напора входит:

- шкаф управления электроприводом;
- один электродвигатель постоянного тока;
- лебедка напора.

Лебедка напора приводится в движение от одного двигателя постоянного тока мощностью 200 кВт через редуктор с тремя зубчатыми колесами и с тремя зубчатыми передаточными числами, большое колесо непосредственно связано с барабанами. Вал двигателя соединяется с валом редуктора при помощи эластичной муфты, обода которого служат одновременно тормозными шкивами колодочных замкнутых тормозов лебедки.



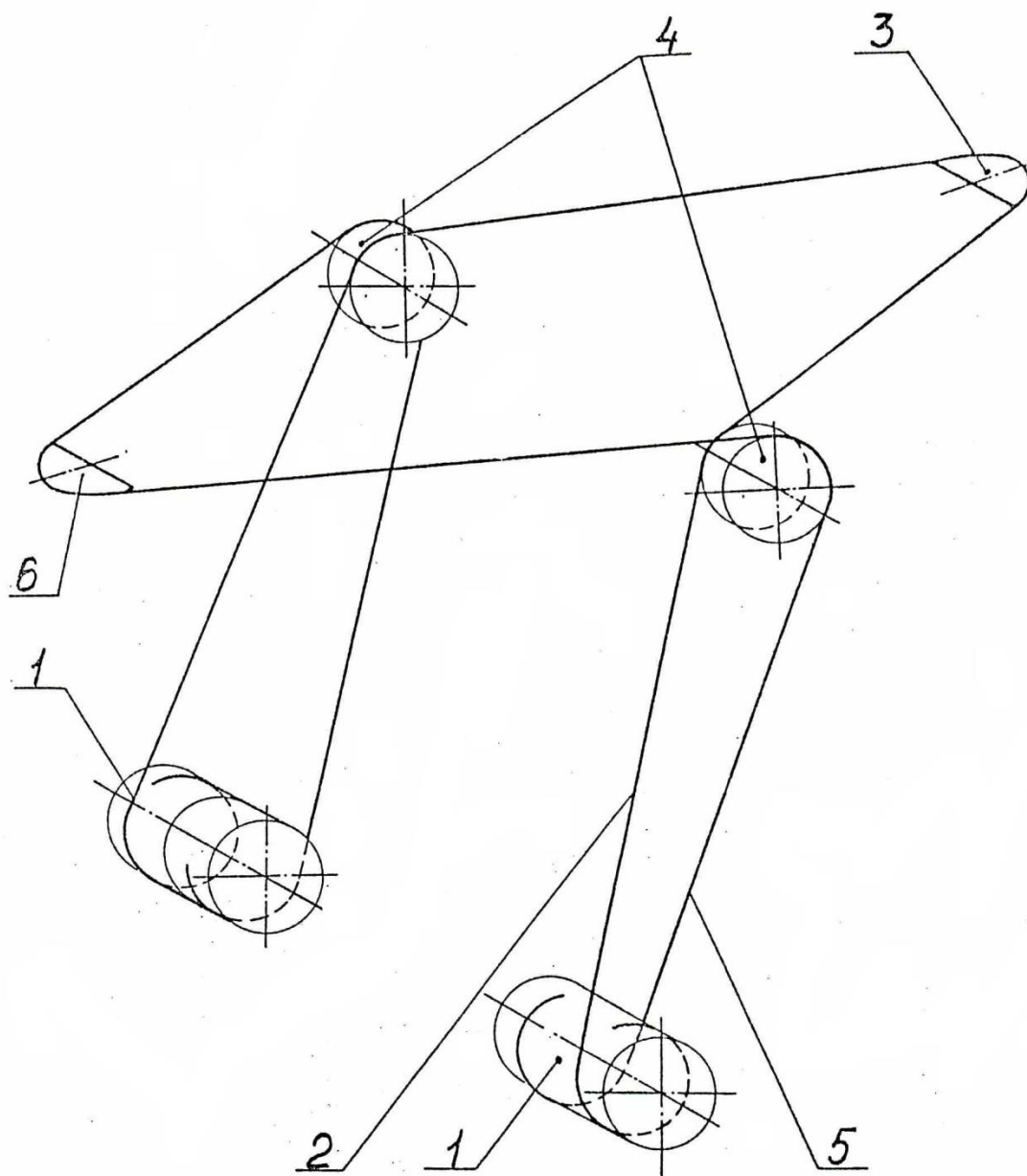
1 - электродвигатель; 2 - тормоз; 3 - муфта упругая; 4 - редуктор;
5 - барабан разъемный; 6 - барабан.

Рисунок 5. Кинематическая схема механизма напора экскаватора ЭКГ-15

Лебедку для напора ковша устанавливают на горизонтальной ферме платформы. Данная система содержит элементы с различными видами движений: вращательным и поступательным. Поэтому для упрощения анализа заменяем реальную систему более простой расчетной эквивалентной схемой.

Схема запасовки напорного и возвратного канатов приведена на рисунке 7. Возвратный канат 2 пропускают через возвратный полублок 3, внутренние ручки двухручьевых блоков 4 и концами наматывают сверху по наружным ручьям барабана 1. Концы каната закрепляют в соответствующих пазах барабанов.

Напорный канат 5 пропускают через напорный полублок 6, наружные ручки двухручьевых блоков 4, концами наматывают снизу по внутренней нарезке барабанов и закрепляют аналогично возвратному канату.



1 - барабаны; 2 - канат возвратный; 3 - полублок возвратный; 4 - блоки двухручьевые; 5 - канат напорный; 6 - полублок напорный.

Рисунок 7. Схема запасовки напорного и возвратного канатов

3. РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭКСКАВАТОРА В СИСТЕМЕ ТПВ-Г-Д

В качестве электропривода в экскаваторах применяется регулируемый электропривод с автоматическим регулированием параметров. Так как к электроприводу экскаваторов предъявляются особые требования по надежности с одной стороны, а с другой стороны должна сохраниться наибольшая производительность экскаватора, в качестве регулируемого электропривода (РЭП) применяется система генератор – двигатель (Г-Д) с тиристорным возбудителем, как наиболее удовлетворяющая требованиям работы в горно-геологических условиях. В системе Г-Д режим работы каждого из генераторов преобразовательного агрегата повторяет режим работы соответствующего двигателя. Однако с точки зрения условий охлаждения генераторы работают в лучших условиях, т.к. якоря генераторов независимо от нагрузки вращаются с постоянной частотой. Постоянная частота вращения и возможность регулирования величины тока в обмотках возбуждения генераторов позволяет в системе Г-Д обеспечивать необходимую мощность двигателей во всех их режимах работы, даже при стопорении.

Система Г-Д с тиристорным возбудителем обладает высокими регулировочными параметрами и обеспечивает широкий диапазон регулирования.

Система Г-Д электропривода механизма напора состоит из одного электродвигателя постоянного тока, получающего питание от генератора постоянного тока с регулируемым напряжением. Двигатели имеют независимое возбуждение с регулируемым ослаблением потока, благодаря чему в системе осуществляется регулирование скорости в сторону уменьшения путем регулирования напряжения генератора и в сторону увеличения путем уменьшения потока исполнительного двигателя. Широкий диапазон регулирования обеспечивается без применения тахогенератора или иных устройств контроля скорости.

В электроприводе механизма напора применяется рекуперативное торможение. Рекуперативное торможение двигателя осуществляется без потребления энергии от генератора, за счет кинетической энергии опускающегося ковша. Более того, часть энергии возвращается обратно в питающую сеть. Поэтому рекуперативное торможение относится к числу наиболее экономичных видов торможения.

Достоинством системы Г-Д является отсутствие искажений потребляемого из сети тока и относительно небольшое потребление реактивной мощности. При применении синхронного двигателя в преобразовательном агрегате путем регулирования тока возбуждения можно обеспечить работу электропривода с $\cos\varphi = 1$ или с опережающим $\cos\varphi$ для компенсации реактивной мощности, потребляемой другими установками.

В системе Г-Д генератор приводится во вращение с постоянной скоростью синхронным приводным двигателем СД. Обмотка независимого возбуждения генератора ОВГ состоит из двух полуобмоток, которые питаются от управляемого тиристорного возбудителя.

Скорость двигателя регулируется изменением величины напряжения генератора U_g . ЭДС генератора E_g регулируется в свою очередь изменением величины тока i_b в ОВГ.

Обмотка независимого возбуждения двигателя ОВД питается от полуправляемого тиристорного возбудителя ТВД.

Изменение вращения двигателя достигается за счет перемены полярности напряжения на зажимах якоря генератора, в результате изменения (посредством переключения групп тириستоров) напряжения токов i_b .

Автоматизация электропривода механизма напора сводится к регулированию скорости движения рукояти ковша, а, следовательно, к регулированию размеров срезаемой стружки. Автоматическое регулирование скорости вращения напорного двигателя достигается путем введения главной отрицательной обратной связи по напряжению якорной цепи.

Таким образом, система Г-Д с тиристорным возбудителем позволяет осуществлять плавный пуск, плавное регулирование частоты вращения и в больших пределах применять наиболее рациональный режим рекуперативного торможения. Система Г-Д обладает хорошими регулировочными характеристиками, сравнительно невысокой удельной стоимостью и высоким уровнем срока службы.

3.1 Схема электрическая принципиальная

Наиболее полно требованиям экскаваторного электропривода большой мощности отвечает система постоянного тока генератор-двигатель, с питанием обмоток возбуждения генераторов от отдельных статических тиристорных преобразователей.

Для питания электродвигателей используется четырехмашинный преобразовательный агрегат, состоящий из синхронного электродвигателя и трех генераторов постоянного тока. Возбуждение электродвигателей осуществляется напряжением 110 В от статического возбудителя, представляющего собой магнитный усилитель УМ и кремневые выпрямители.

Схема управления главными электроприводами является системой подчиненного регулирования с контуром регулирования тока и контуром регулирования напряжения. Такая система позволяет формировать надлежащие статические и динамические характеристики главных электроприводов. Схема электрическая принципиальная приведена на рисунке 8.

3.2 Цепь обмотки возбуждения генератора

3.2.1 Выбор соединения секций обмоток возбуждения генератора

Напряжение возбуждения генератора при последовательном включении секций обмоток возбуждения и номинальном токе возбуждения.

$$U_{\text{вг}} = I_{\text{вг}} \cdot R_{\text{вг.гор}} = 28 \cdot 2.756 = 77.168 \text{ В.}$$

В режиме форсировки

$$U_{\text{твг}} = \alpha \cdot U_{\text{вг}} = (4 \div 6) \cdot 77.168 = (308.67 \div 463) \text{ В.}$$

Ток возбуждения при последовательном включении секции обмотки возбуждения генератора $I_{\text{в}} > I_{\text{вг.ном}} = 28 \text{ А.}$

Напряжение возбуждения генератора при параллельном включении секции обмотки возбуждения и номинальном токе возбуждения.

$$U_{\text{вг}} = I_{\text{в}} \cdot (R_{\text{вг.гор}} / 2) = 28 \cdot (2.756 / 2) = 38.584 \text{ В.}$$

В режиме форсировки.

$$U_{\text{вг}} = \alpha \cdot U_{\text{вг}} = (4 \div 6) \cdot 38.584 = (154.33 \div 231.5) \text{ В.}$$

Ток возбудителя при параллельном включении секций обмотки возбуждения генератора.

$$I_{\text{в}} \geq 2 \cdot 28 = 56 \text{ А.}$$

Выбираем последовательное включение секций обмотки возбуждения генератора, тогда возбудитель генератора выбирается по следующим параметрам: $I_{\text{вг}} > 28 \text{ А,}$ и $U_{\text{вг}} > \alpha \cdot 77.168 \text{ В.}$

3.3 Выбор тиристорного возбудителя генератора

Выбираем реверсивный тиристорный возбудитель разделным управлением, выполненный по 3-х фазной мостовой схеме.

Преобразователь подключается к сети 380В через трансформатор. Справочные технические параметры трансформатора и преобразователя приведены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Таблица 2 – Технические параметры трансформатора возбудителя генератора

Параметры	Значение
Мощность S , кВА	16
Напряжение сетевой обмотки $U_{1л}$, В	380
Напряжение вентильной обмотки $U_{2л}$, В	220
Ток вентильной обмотки $I_{2л}$, А	38.2
Потери короткого замыкания $\Delta P_{кз}$, Вт	550
Напряжение короткого замыкания $U_{кз}$, %	5.2

Таблица 3 – Технические параметры тиристорного возбудителя генератора

Параметры	Обозначение	Значение
Число фаз питающей сети	m_2	3
Напряжение питающей сети, В	$U_{2л}$	220
Схема выпрямления		Трехфазная мостовая
Номинальный выпрямленный ток, А	$I_{дн}$	46.5
Управление реверсивным преобразователем		Раздельное
Начальный угол, град	$\alpha_{нач}$	90
Число фаз преобразователя	m_B	6
Максимальное напряжение управления на входе возбудителя, В	$U_{у.твг.макс}$	10

3.4 Расчет параметров трансформатора возбудителя генератора

Расчет ведется для эквивалентного соединения вторичной обмотки трансформатора в звезду,

$$\text{тогда } U_{2\phi} = \frac{U_{2н}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127.16 \text{ В}, I_{2\phi} = I_{2л} = 38.2 \text{ А}.$$

Активное полное, и индуктивное сопротивления и индуктивность вентильной обмотки на фазу:

$$R_{\text{тр.}\phi} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{M_2 \cdot I_{2\phi н}^2} = \frac{550}{3 \cdot 82.2^2} = 0.1256 \text{ Ом}.$$

$$Z_{\text{тр.}\phi} = \frac{U_{\text{кз}} \% \cdot U_{2\phi н}}{100 \cdot I_{2\phi н}} = \frac{5.2 \cdot 127.16}{100 \cdot 82.2} = 0.1731 \text{ Ом}.$$

$$X_{\text{тр.}\phi} = \sqrt{Z_{\text{тр.}\phi}^2 - R_{\text{тр.}\phi}^2} = \sqrt{0.1731^2 - 0.1256^2} = 0.119 \text{ Ом}.$$

$$L_{\text{тр.}\phi} = \frac{X_{\text{тр.}\phi}}{\omega_c} = \frac{0.119}{314} = 0.000379 \text{ Гн}.$$

3.5 Расчетные параметры тиристорного возбудителя

Средняя выпрямленная ЭДС возбудителя при угле управления $\alpha=0^\circ$

$$E_{\text{до}} = K_{\text{у2л}} \cdot U_{2л} = 1.351 \cdot 220 = 297.22 \text{ В}.$$

Сопротивление силовой цепи возбудителя

$$R_{\text{ТПВ}} = 2R_{\text{тр.}\phi} + R_{\text{к}} = 2 \cdot 0.125 + 0.1137 = 0.364 \text{ Ом},$$

где

$$R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot X_{\text{тр.}\phi}}{2\pi} = \frac{6 \cdot 0.119}{2 \cdot 3.14} = 0.1137 \text{ Ом} \quad - \quad \text{сопротивление, вносимое}$$

коммутацией токов вентиляей.

Индуктивность силовой цепи возбуждения

$$L_{\text{ТП}} = 2 \cdot L_{\text{тр.}\phi} = 2 \cdot 0.000379 = 0.758 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}.$$

Коэффициент усиления возбудителя

$$K_{\text{ТП}} = K_{\text{сифу}} \cdot K_{\text{ув}} = 10 \cdot 5.18 = 51.8$$

где

$$K_{\text{сифу}} = 10 \text{ град/в};$$

$$K_{\text{ув}} = \frac{\pi \cdot E_{do}}{180} = \frac{3.14 \cdot 297.22}{180} = 5.185 \text{ в/град.}$$

Постоянная времени возбудителя

$$T_{\text{ТП.В}} = \frac{0.5}{M_{\text{В}} \cdot f_{\text{с}}} = \frac{0.5}{6 \cdot 50} = 0.00167 \text{ с.}$$

3.6 Расчёт параметров цепи возбуждения генератора

Сопротивление силовой цепи обмотки возбуждения генератора

$$R_{\text{цвг}} = R_{\text{овг.гор}} + 0.1 \cdot R_{\text{овг.гор}} + R_{\text{ТПВ}} = 2.756 + 0.2756 + 0.364 = 3.3956 \text{ Ом.}$$

Максимальное значение ЭДС преобразователя при угле управления

$$\alpha_{\text{мин}} = 30^\circ: E_{\text{ТПВ.макс}} = E_{do} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} = 297.22 \cdot \cos 30^\circ = 257.4 \text{ В,}$$

что обеспечивает кратность форсировки возбуждения

$$\alpha = \frac{E_{\text{ТПВ.макс}}}{I_{\text{вгн}} \cdot R_{\text{увг}}} = \frac{257.4}{28 \cdot 3.3956} = 2.7$$

Максимальное и среднее значения коэффициента усиления генератора при последовательном включении секций обмотки возбуждения с учетом параметров силовой цепи обмотки возбуждения

$$K_{\text{Гмакс}} = \frac{\Delta E_{\text{Г1}}}{\Delta E_{\text{ТПВ}}} = \frac{\Delta E_{\text{ГН}}}{\Delta I_{\text{В1}} \cdot R_{\text{увг}}} = \frac{374}{8 \cdot 3.3956} = 13.77$$

$$K_{\text{Г.ср}} = \frac{\Delta E_{\text{Г}}}{\Delta E_{\text{ТПВ}}} = \frac{E_{\text{ГН}}}{I_{\text{вг.н}} \cdot R_{\text{увг}}} = \frac{957.9}{28 \cdot 3.3956} = 10.07$$

Постоянная времени основного потока (среднее значение)

$$T_B = \frac{L_B}{R_{yвг}} = \frac{4.19}{3.3956} = 1.234 \text{ с.}$$

Постоянная времени потока рассеяния

$$T_s = \frac{L_{тпв} + (L_s)}{R_{yвг}} = \frac{0.758 \cdot 10^{-3} + 0.754}{3.3956} = 0.2223 \text{ с.}$$

Постоянная времени вихревых токов

$$T_K = 0.1 \cdot T_B = 0.1 \cdot 1.234 = 0.1234 \text{ с.}$$

Представим цепь обмотки возбуждения генератора звеном с передаточной функцией $W(p) = \frac{1 / R_{цв}}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)}$.

Постоянная времени эквивалентного звена второго порядка

$$\begin{aligned} T_{1,2} &= \frac{T_B + T_s + T_K}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_B + T_s + T_K}{2}\right)^2 - T_s \cdot T_K} = \\ &= \frac{1.234 + 0.2223 + 0.1234}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1.234 + 0.2223 + 0.1234}{2}\right)^2 - 0.2223 \cdot 0.1234} = \\ &= 1.562 \pm 0.0176 = 0.7898 \pm 0.7722 \text{ с.} \end{aligned}$$

4. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДВИГАТЕЛЯ

В результате многолетнего опыта эксплуатации экскаваторов разработана и выпускается промышленностью серия специализированных экскаваторных машин (с индексом Э в обозначении). Для механизма напора экскаватора ЭКГ-15 используется электродвигатель серии ДЭ-816 ($P_n = 200$ кВт, $n_n 750$ об/мин) и генераторы серии 4ГПЭМ 300-4/1У2 ($P_n = 300$ кВт, $n_n 1000$ об/мин). Электропривод однодвигательный, двигатель включен последовательно с генератором, что обеспечивает выравнивание нагрузок между ними без применения дополнительных устройств.

Паспортные данные двигателя приведены в таблице 5.

5. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Номинальная угловая скорость вращения.

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3.14}{30} \times 750 = 78.5 \text{ рад/с}$$

Предельная угловая скорость вращения.

$$\omega_{pre} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3.14}{30} \times 1600 = 167.5 \text{ рад/с}$$

5.1 Расчет параметров якорной цепи

Структурное звено “якорная цепь” определяет электрические свойства схемы замещения (рис.9) генератора и двигателя.

Для цепи якоря справедливо уравнение

$$E_g - E_{dv} = I_{я.ц} \cdot R_{я.ц} + L_{я.ц} \frac{\partial I_{я.ц}}{\partial t}$$

где E_g - ЭДС генератора;

E_{dv} - ЭДС эквивалентного двигателя;

$R_{я.ц}$, $L_{я.ц}$ – суммарные сопротивления и индуктивность цепи якоря.

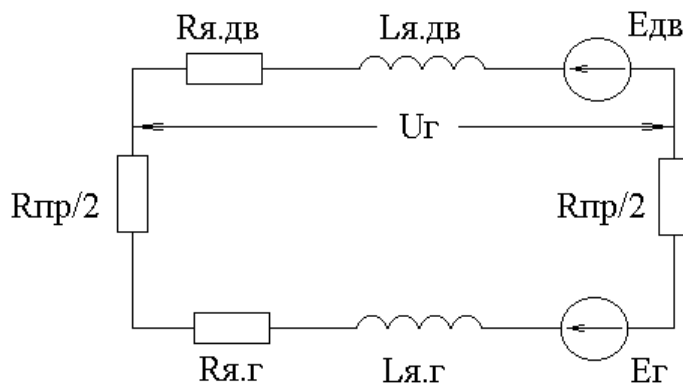


Рисунок 9. Схема замещения якорной цепи

Суммарное сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = R_{дв.гор} + R_{г.гор} + 0.1 \cdot R_{дв.гор} = 0.0231 + 0.0773 + 0.00231 = 0.1027 \text{ Ом},$$

где $R_{г.гор}$ – суммарное сопротивление генератора с учетом нагрева обмоток до 75°C

$$\begin{aligned} R_{г.гор} &= 1.38 \cdot (R_{яг} + R_{дп} + R_{ко}) = \\ &= 1.38 \cdot (0.0355 + 0.00573 + 0.0148) = 0.056 \text{ Ом} \end{aligned}$$

$R_{дв.гор}$ – суммарное сопротивление двигателя с учетом нагрева обмоток до 75°C

$$R_{дв.гор} = 1.38 \cdot (R_{яд} + R_{дп}) = 1.38 \cdot (0.0114 + 0.0053) = 0.0167 \text{ Ом}.$$

Расчетное значение индуктивности силовой цепи

$$L_{яц} = L_{г} + L_{дв} = 0.00063 + 0.00114 = 0.00177 \text{ Гн},$$

где $L_{г}$ – индуктивность генератора

$$L_{г} = \frac{\gamma \cdot U_{г.н}}{p \cdot \omega_{г.н} \cdot I_{г.н}} = \frac{0.1 \cdot 630}{2 \cdot 104.72 \cdot 477} = 0.00063 \text{ Гн},$$

где $\gamma = 0.1 \div 0.2$ – коэффициент компенсации,

принимаем $\gamma = 0.1$;

$L_{дв}$ – индуктивность двигателя

$$L_{д} = \frac{\gamma \cdot U_{д.н}}{p \cdot \omega_{д.н} \cdot I_{д.н}} = \frac{0.2 \cdot 440}{2 \cdot 78.5 \cdot 490} = 0.00114 \text{ Гн},$$

принимаем $\gamma = 0.2$.

Электромагнитная постоянная времени

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0.00177}{0.1027} = 0.0172 \text{ с}.$$

Постоянная времени цепи двигателя

$$T_{дв} = \frac{L_{дв}}{R_{дв}} = \frac{0.00114}{0.0231} = 0.0494 \text{ с}.$$

6. ОБЛАСТЬ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Область работы электропривода задана в четырех квадрантах плоскости координат:

$\omega_{\text{ЭП.макс}} = 104,7 \text{ рад/с}$ максимальная угловая скорость электропривода,
 $I_{\text{ЭП.макс}} = 2.25 \cdot I_{\text{д.н.}} = 2.25 \cdot 477 = 1073.25 \text{ А}$ максимально допустимый ток электропривода.

Характеристики разомкнутой системы Г-Д

Двигательный режим работы электропривода. Электромеханическая характеристика разомкнутой системы Г-Д

$$\omega = \frac{E_{\text{Г.н}} - I_{\text{д.н}} \cdot R_{\text{яц}}}{C},$$

где $E_{\text{Г.н}} = 666.87 \text{ В}$.

Расчеты сводим в таблицу 4

Таблица 4

Электромеханическая характеристика (I и II квадранты)	$I_{\text{я}}, \text{ А}$	$-I_{\text{ЭП макс}} = 1073.25$	0	$I_{\text{ЭП макс}} = 1073.25$
	$\omega, \text{ рад/с}$	142.3	122.12	101.93
Электромеханическая характеристика (III и IV квадранты)	$I_{\text{я}}, \text{ А}$	$-I_{\text{ЭП макс}} = 1073.25$	0	$I_{\text{ЭП макс}} = 1073.25$
	$\omega, \text{ рад/с}$	-101.93	-122.12	-101.93

По данным таблицы 4 строим область существования электромеханических характеристик электропривода (рис. 10)

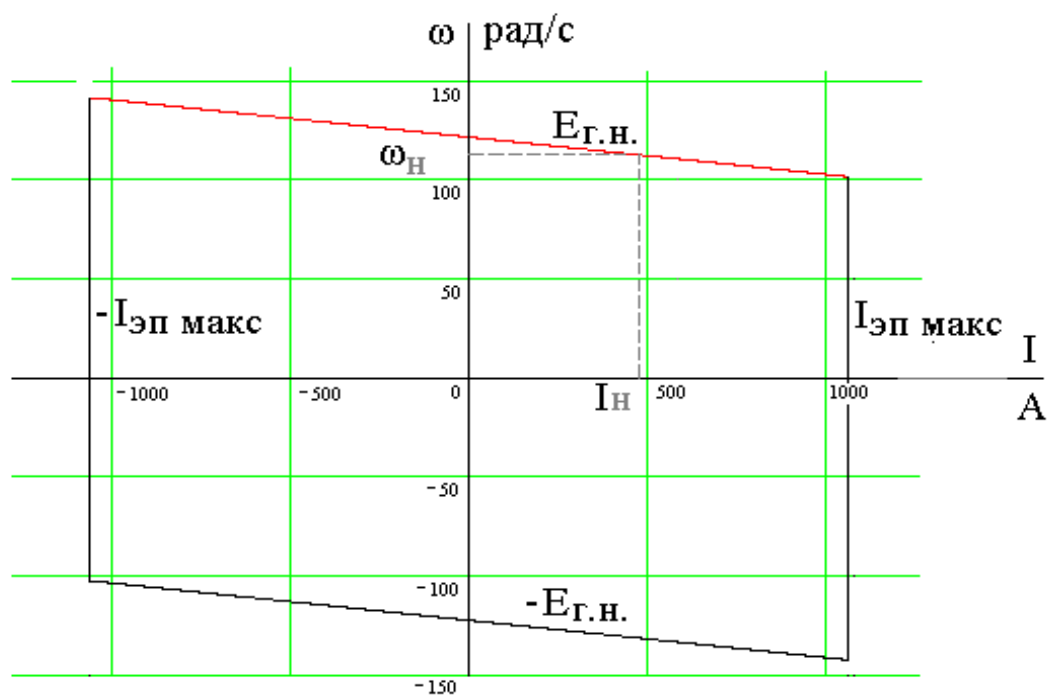


Рисунок 10. Область существования электромеханических характеристик

Результаты расчетов параметров элементов электропривода сводим в таблицу 5.

Таблица 5

п. п.	Параметры элементов привода, наименование	Расчетная формула, обозначение	Данные	Примечание
1	Электродвигатель ДЭ-816			
1.1	Номинальная мощность, кВт	P_H	200	ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ
1.2	Номинальное напряжение, В	U_H	440	
1.3	Номинальный ток, А	I_H	490	
1.4	Номинальная скорость вращения, об/мин Предельная скорость вращения, об/мин	n_H $n_{пред}$	750 1600	
1.5	Момент инерции, кг·м ²	$J_{дв}$	16.25	
1.6	Сопротивление добавочных полюсов, Ом	$R_{дп}$	0.0053	
1.7	Сопротивление компенсационной обмотки, Ом	$R_{ко}$	нет	
1.8	Сопротивление обмотки якоря при +15°C, Ом	$R_{оя+15^{\circ}C}$	0.0114	
1.9	Сопротивление обмотки возбуждения, Ом	R_B	2.92	
1.10	Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_{в.н}$	85	
1.11	Номинальный КПД, %	η_H	85	
1.12	Число полюсов	$2p$	4	
1.13	Номинальная угловая скорость вращения, рад/сек	$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30}$	78.5	РАСЧЕТЫ
1.14	Суммарное сопротивление, Ом	$R_{дв} = R_{дп} + R_{ко} + R_{воя}$	0.0167	

1.15	Сопротивление якоря двигателя (горячее), Ом	$R_{\text{двгор}} = 1,38 \cdot R_{\text{дв}}$	0.0231	РАСЧЕТЫ
1.16	Коэффициент ЭДС двигателя, (В·сек/рад)	$C = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{дв.гор}}}{\omega_{\text{н}}}$	5.461	
1.17	Номинальный момент, Н·м	$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}$	2547.77	
1.18	Полная индуктивность якорной цепи (двигателя), Гн	$L_{\text{дв}} = \frac{\gamma \cdot U_{\text{н}}}{I_{\text{н}} \cdot p \cdot \omega_{\text{н}}}$	0.00114 при $\gamma=0.2$	
2	Генератор 4ГПЭМ 300-4/1У2			ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ
2.1	Номинальная мощность, кВт	$P_{\text{н}}$	300	
2.2	Номинальное напряжение, В	$U_{\text{н}}$	630	
2.3	Номинальный ток, А	$I_{\text{н}}$	477	
2.4	Номинальный ток возбуждения, А	$I_{\text{в.н}}$	17.7	
2.5	Номинальное напряжение возбуждения, В	$U_{\text{вн}}$	101.6	
2.6	Номинальная скорость вращения, об/мин	$n_{\text{н}}$	1000	
2.7	Сопротивление обмотки возбуждения (соединение обмоток последовательное), Ом	$R_{\text{в}}$	(2.08+2.08)	
2.8	Сопротивление обмотки якоря при +15°C, Ом	$R_{\text{оя}+15^{\circ}\text{C}}$	0.0355	
2.9	Сопротивление обмотки добавочных полюсов при +15°C, Ом	$R_{\text{дп}+15^{\circ}\text{C}}$	0.00573	

2.10	Сопротивление компенсационной обмотки при +15°C, Ом			$R_{\text{ко}+15^{\circ}\text{C}}$		0.0148		ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ
2.11	Сопротивление противокомпаудной обмотки при +15°C, Ом			$R_{\text{про}+15^{\circ}\text{C}}$		нет		
2.12	Число витков обмотки возбуждение на полюс(соединение параллельное)			$W_{\text{вг}}$		360		
2.13	Число полюсов			$2p$		4		
2.14	Суммарное сопротивление генератора, Ом			$R_{\Gamma}=R_{\text{оя}}+R_{\text{дп}}+R_{\text{ко}}$		0.056		РАСЧЕТ
2.15	Сопротивление якоря генератора (горячее), Ом			$R_{\Gamma.\text{гор}}=1.38 \cdot R_{\Gamma}$		0.0773		
2.16	Сопротивление обмотки возбуждения горячее, Ом			$R_{\text{ов.гор}}=1.38 \cdot R_{\text{ов}}$		2.87+2.87		
2.17	Индуктивность якорной цепи генератора, Гн			$L_{\Gamma}=\frac{U_{\text{ГН}}}{I_{\text{ГН}} \cdot p \cdot \omega_{\text{Н}}} \cdot \gamma$		0.00063 при $\gamma=0.1$		
2.18	Номинальный поток возбуждения, Вб			$\Phi_{\text{н}}$		0.0586		
2.19	Индуктивность основного потока, Гн			$L_{\text{вг}}=2 \cdot p \cdot W_{\text{в}} \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta I_{\text{вн}}}$		4.768		
2.20	Индуктивность потока рассеяния, Гн			$L_{\text{сг}}=2 \cdot p \cdot W_{\text{в}} \cdot \frac{\sigma \cdot \Phi_{\text{н}}}{I_{\text{в.н.}}}$		0.858		σ - коэффициент учета рассеяния
$I_{\text{в}}, \text{А}$	0	5	10	15	17.7	25	Рис. 11	
$E_{\text{в}}, \text{В}$	0	380.7	549.4	640.96	666.87	730.12		

3	Якорная цепь			
3.1	Сопротивление якорной цепи, Ом	$R_{яц}=R_{дгор}+R_{ггор}$	0.1027	РАСЧЕТ
3.2	Индуктивность якорной цепи, Гн	$L_{яц}=L_{г}+L_{дв}$	0.00177	
3.3	Электромагнитная постоянная времени, с	$T_{яц} = L_{яц}/R_{яц}$	0.0172	
3.4	Постоянная времени цепи двигателя, с	$T_{дв} = L_{дв}/R_{дв}$	0.0494	
4	Механическая система привода			
4.1	Момент инерции механизма подъема, кг·м ²	$J_{м} = 0,2J_{дв}$	3.25	РАСЧЕТ
4.2	Момент инерции первой массы, кг·м ²	$J_1=J_{дв}+ J_{м}$	19.5	
4.3	Момент инерции второй массы (ковш пустой), кг·м ²	$J_{2мин}$	1.54	
4.4	Момент инерции второй массы (ковш груженный), кг·м ²	$J_{2макс}$	3.32	
4.5	Момент инерции привода, кг·м ² а) ковш пустой б) ковш груженный	$J_{э}= J_1+ J_2$	21.04 22.82	
4.6	Электромеханическая постоянная времени, с	$T_{м}$	0.0768	
5	Датчик тока якорной цепи			
5.1	Коэффициент передачи датчика тока якоря, В/А	$K_{дт} = \frac{10}{I_{дв\ max}}$	0.0084	РАСЧЕТ
6	Датчик напряжения двигателя			
6.1	Коэффициент передачи датчика напряжения	$K_{дн} = \frac{10}{U_{дв.макс}}$	0.0227	

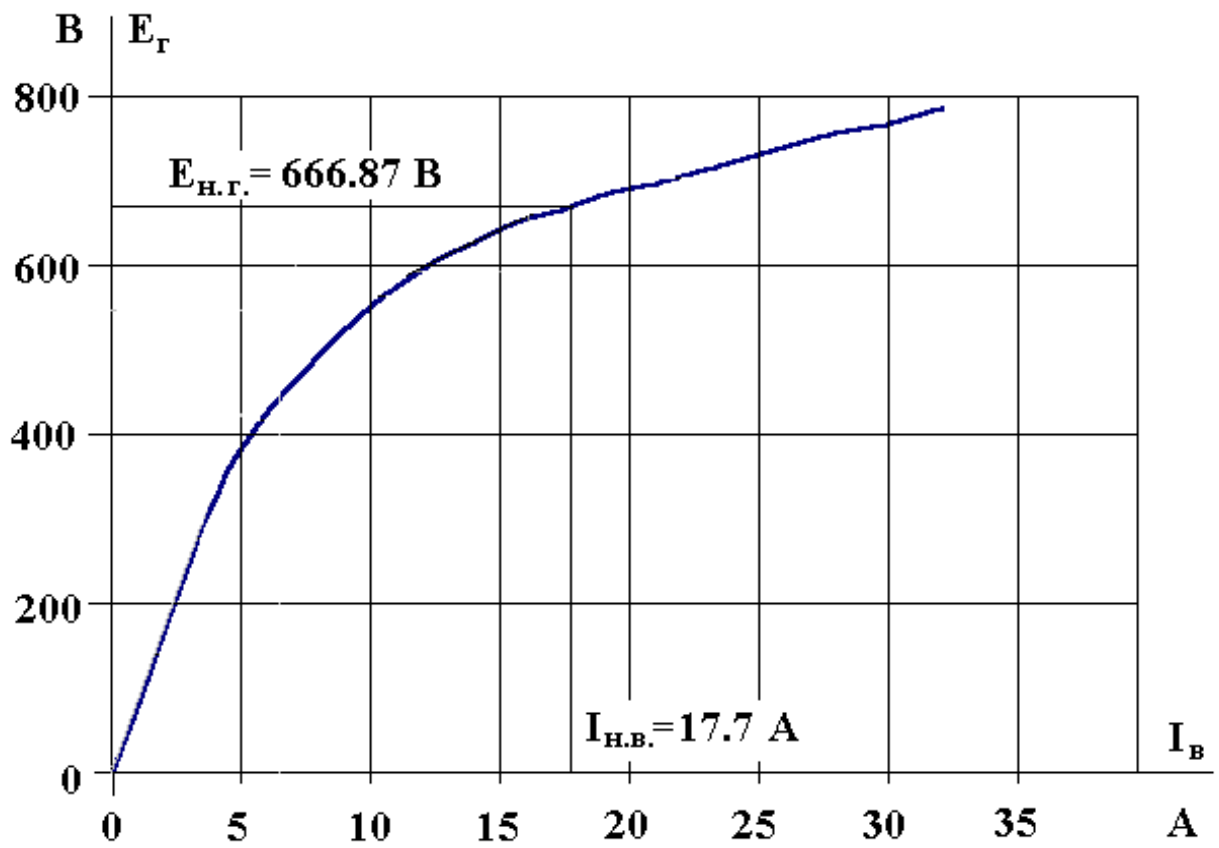


Рисунок 11. Характеристика холостого хода генератора 4ГПЭМ 300 – 4/1 У2

7. МЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАПОРА- ЭКСКАВАТОРА

Паспортные параметры механизма напора экскаватора ЭКГ-15 приведены в таблице 6.

Таблица 6

Наименование	Обозначение	Значение
Масса экскаватора, т	$m_{\text{эк}}$	667
Емкость ковша, м ³	$E_{\text{к}}$	15
Длина стрелы, м	$L_{\text{ст}}$	18
Длина рукояти, м	$L_{\text{р}}$	13.12
Масса рукояти, т	$m_{\text{р}}$	16.5
Масса ковша, рукояти и других узлов в сборе, т		29.6
Максимальная высота черпания, м	$H_{\text{ч, макс}}$	16.4
Угол наклона стрелы, град	φ	45
Диаметр головного блока стрелы, м	$D_{\text{гб}}$	2.2
Максимальная скорость подъема ковша, м/с	$V_{\text{к}}$	1.1
Максимальное усилие на блоке ковша, кН	$F_{\text{п, макс}}$	1470
Расчетная продолжительность цикла, с	$t_{\text{ц}}$	26
Передаточное число редуктора напора	$i_{\text{ред}}$	92.55
КПД механизма напора	η	0.84
Схема запасовки каната напорной лебедки	Сдвоенный полиспаст	
Число ветвей каната полиспаста	$i_{\text{пол}}$	2
Диаметр каната, мм	$d_{\text{к}}$	52.5
Длина каната, м	$L_{\text{к}}$	155
Масса каната, кг	$m_{\text{к}}$	1837

7.1 Определение дополнительных параметров механизма напора

Расчет дополнительных параметров механизма напора, требуемых для дальнейших расчетов, приведен в таблице 7.

Таблица 7

Наименование	Расчетное выражение	Значение
Высота оси пяты стрелы, м	$H_{\Pi} = 0.45 \cdot \sqrt[3]{m_{\text{ЭК}}}$	3.86
Высота напора вала, м	$H_{\text{Н}} = 1.1 \cdot \sqrt[3]{m_{\text{ЭК}}}$	9.45
Длина ковша, м	$L_{\text{К}} = 0.77 \cdot 1.2 \cdot \sqrt[3]{E_{\text{К}}}$	2.28
Масса породы, т	$m_{\Pi} = \frac{\gamma_{\Pi} \cdot E_{\text{К}}}{\kappa_{\text{р}}}$	38.8
Где $\gamma=0.3-3.5$ -плотность породы 4-категории в цикле, т/м ³	Принято 3.0	

7.2 Определение приведенных моментов инерции элементов кинематической цепи привода

Эквивалентный момент инерции движущихся масс определяется из условия равенства кинематической энергии в реальной и эквивалентной системах. (рис.12.)

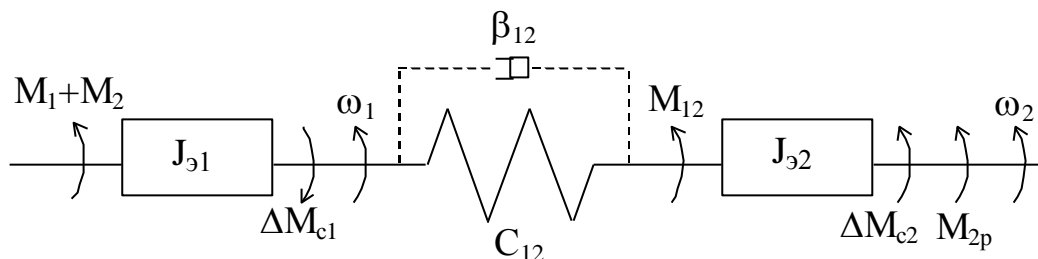


Рисунок 12. Расчетная эквивалентная схема электропривода.

Момент инерции первой массы

$$J_1 = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех}} = 16,25 + 3,25 = 19,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $J_{\text{мех}}$ – момент инерции механизма напора

$$J_{\text{мех}} = 0,2 \cdot J_{\text{дв}} = 0,2 \cdot 16,25 = 3,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции второй массы

- ковш пустой (принимаем)

$$J_{2\min} = 1.54 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

- ковш груженный (принимаем)

$$J_{2\max} = 3.32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Эквивалентный момент инерции привода:

- ковш пустой

$$J_{\text{э}} = J_1 + J_{2\min} = 19.5 + 1.54 = 21.04 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

- ковш груженный

$$J_{\text{э}} = J_1 + J_{2\max} = 19.5 + 3.32 = 22.82 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Эквивалентная линейная жесткость канатов для компоновочной схемы со сдвоенным полиспастом определяется по выражению

$$C_{1\text{э}} = \frac{4C_{\text{к}}}{L_1 + L_2} \cdot i_{\text{пол}}, \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

где

$$C_{\text{к}} = \frac{E_{\text{к}} \cdot S_{\text{к}}}{1} = \frac{1.25 \cdot 10^{11} \cdot 1.061 \cdot 10^{-3}}{1} = 1.32625 \cdot 10^8 \text{ Н} - \text{жесткость одного}$$

погонного метра каната;

$$E_{\text{к}} = (1.11 \div 1.4) \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} - \text{модуль продольной упругости для стальных}$$

канатов;

$$S_{\text{к}} = \pi \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 216 \cdot \frac{3.1415 \cdot (52 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1.061 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 - \text{площадь сече-}$$

ния проволок.

7.3 Параметры канатной передачи

Принимаем длину запасовочных концов каната $L_{\text{зап}} = 30\text{ м}$.

Длина каната от блока ковша до выравнивающего полублока в нижнем положении

$$L_{2\text{н}} = \frac{L_{\text{к}} - L_{\text{к}} - 2 \cdot 1.2 \cdot L_{\text{стр}}}{4} = \frac{155 - 20 - 2 \cdot 1.2 \cdot 18}{4} = 22.95\text{ м}.$$

Длина каната от блока ковша до выравнивающего полублока в верхнем положении

$$L_{2\text{в}} = L_{2\text{н}} - H_{\text{ч}} = 22.95 - 16.4 = 6.55\text{ м}.$$

Длина каната от барабана до блока ковша в его нижнем положении

$$L_{1\text{н}} = 1.2 \cdot L_{\text{стр}} + L_{2\text{н}} = 1.2 \cdot 18 + 22.95 = 44.55\text{ м}.$$

Длина каната от барабана до блока ковша в его верхнем положении

$$L_{1\text{в}} = L_{1\text{н}} - H_{\text{ч}} = 44.55 - 16.4 = 28.15\text{ м}.$$

Эквивалентная линейная жесткость канатов при нижнем положении ковша

$$C_{l\text{эн}} = i_{\text{пол}} \cdot \frac{C_{\text{к}}}{L_{1\text{н}} + L_{2\text{н}}} = 2 \cdot \frac{4 \cdot 1.326 \cdot 10^8}{44.55 + 22.55} = 1.58 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

и при верхнем положении ковша

$$C_{l\text{эв}} = i_{\text{пол}} \cdot \frac{4 \cdot C_{\text{к}}}{L_{1\text{в}} + L_{2\text{в}}} = 2 \cdot \frac{4 \cdot 1.326 \cdot 10^8}{28.15 + 6.55} = 3.057 \cdot 10^7 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Приведенная эквивалентная угловая жесткость двухмассовой расчетной схемы при нижнем положении ковша

$$C_{\varphi\text{эн}} = C_{l\text{эн}} \cdot \frac{D_6^2}{4 \cdot i_{\text{ред}}^2} = 1.64 \cdot 10^7 \cdot \frac{1.4^2}{4 \cdot 92.55^2} = 938.1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

и при верхнем положении ковша

$$C_{\varphi\text{эн}} = C_{l\text{эв}} \cdot \frac{D_6^2}{4 \cdot i_{\text{ред}}^2} = 3.57 \cdot 10^7 \cdot \frac{1.4^2}{4 \cdot 92.55^2} = 2.042 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}$$

7.4 Резонансная частота механической системы привода напора

Резонансная частота механической системы привода напора, выполненной по схеме со сдвоенным полиспастом, при нижнем положении ковша

$$\omega_{н.мин} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2\max}}{J_1 \cdot J_{2\max}}} \cdot C_{\varphi\text{ЭН}} = \sqrt{\frac{19.5 + 3.32}{19.5 \cdot 3.32}} \cdot 938.1 = 18.2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

и порожнего ковша

$$\omega_{н.мин} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2\min}}{J_1 \cdot J_{2\min}}} \cdot C_{\varphi\text{ЭН}} = \sqrt{\frac{19.5 + 1.54}{19.5 \cdot 1.54}} \cdot 938.1 = 25.6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

и при верхнем положении заполненного ковша

$$\omega_{в.мин} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2\max}}{J_1 \cdot J_{2\max}}} \cdot C_{\varphi\text{ЭН}} = \sqrt{\frac{19.5 + 3.32}{19.5 \cdot 3.32}} \cdot 2.042 \cdot 10^3 = 26.842 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

и порожнего ковша

$$\omega_{н.мин} = \sqrt{\frac{J_1 + J_{2\min}}{J_1 \cdot J_{2\min}}} \cdot C_{\varphi\text{ЭН}} = \sqrt{\frac{19.5 + 1.54}{19.5 \cdot 1.54}} \cdot 2.042 \cdot 10^3 = 37.822 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

8. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАПОРА

В силовой канал электропривода входит:

- тиристорный преобразователь, который выполняет функцию регулятора обмотки напряжения генератора;
- синхронный генератор, который преобразует механическую энергию в электрическую;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

В структурной схеме приняты следующие обозначения.

Напряжение двигателя снимается с участка якорной цепи и равно

$$U_{\text{дв}} = e_{\text{дв}} + R_{\text{дв}} \cdot i + L_{\text{дв}} \cdot \frac{di}{dt} = e_{\text{дв}} + R_{\text{дв}} \cdot \left(\frac{L_{\text{дв}}}{R_{\text{дв}}} p + 1 \right) \cdot i,$$

где $R_{\text{дв}}$ и $L_{\text{дв}}$ – параметры участка якорной цепи, с которой снимается сигнал обратной связи.

Контур тока настраивается на модульный оптимум при коэффициенте оптимизации $a_T=2$.

$$T_{\text{рТ}} = T_{\text{яц}}, \quad k_{\text{рТ}} = \frac{T_1 \cdot R_{\text{яц}}}{k_{\text{ТПВ}} \cdot k_{\text{Г}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot a_{\text{Т}} \cdot T_{\text{мТ}}}, \quad k_{\text{Т}} = k_{\text{от}} \cdot k_{\text{дт}} = \frac{U_{\text{зт}}}{I_{\text{эл.макс}}}$$

где $T_{\text{мТ}}$ – эквивалентная малая постоянная времени контура тока, с.

$W(p)_{\text{рТ}} = k_{\text{рТ}}$ - передаточная функция П-регулятора тока;

$W(p)_{\text{рН}} = k_{\text{рН}}$ - передаточная функция П-регулятора напряжения;

$W(p)_{\text{ТВГ}} = \frac{k_{\text{ТВГ}}}{T_{\text{ТВГ}} p + 1}$ - передаточная функция тиристорного возбудителя

генератора;

$W(p)_{\text{Г}} = \frac{k_{\text{Г}}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$ - передаточная функция генератора;

$W(p)_{\text{Д}} = \frac{2 \cdot C}{R_{\text{яц}} \cdot J_{\text{э}} \cdot p \cdot (T_{\text{яц}} p + 1)}$ - передаточная функция двигателя.

9. СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ ОПТИМАЛЬНОЙ НАСТРОЙКИ

Задача синтеза САУ РЭП сводится к определению параметров корректирующих цепей. Эта задача не является однозначной, поэтому важен выбор метода расчета, который, обладая простотой и надежностью, позволял бы рассмотреть несколько вариантов и выбрать наиболее рациональный. Использование методов численного моделирования позволяет определять параметры системы по заданным показателям качества и варьировать ими в широких пределах.

Синтез проводится для типовых структур РЭП подчинённого регулирования. Приводим систему к типовой двухконтурной структурной схеме РЭП подчиненного регулирования с П – регулятором напряжения и П регулятором тока, с внешним контуром напряжения и внутренним контуром тока.

9.1 Оптимизация контура тока в двухконтурной САУ электропривода по схеме ТПВ-Г-Д

При оптимизации контура не учитывается обратная связь по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема контура тока приведена на рисунке 13.

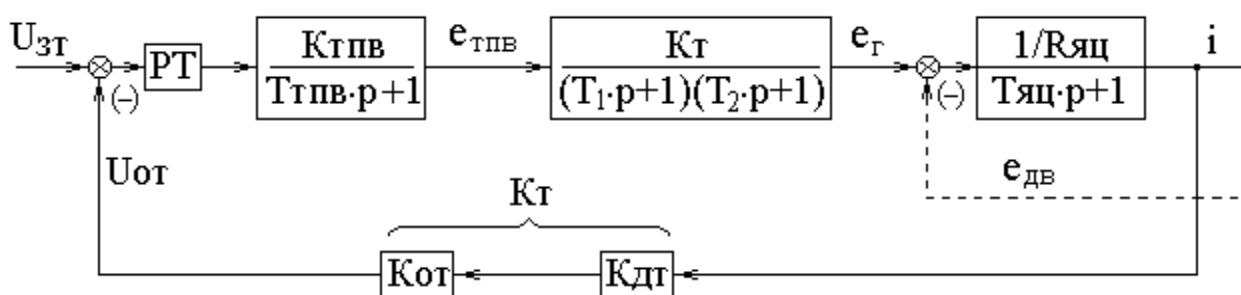


Рисунок 13. Структурная схема контура тока

Контур содержит четыре инерционных звена первого порядка (апериодических), причем имеет место следующее соотношение постоянных времени

$$\frac{T_1}{T_{\text{ТПВ}} + T_2 + T_{\text{яц}}} = \frac{0.899}{0.005 + 0.0101 + 0.0172} = 27.84$$

При указанном отношении >20 для оптимизации контура на модульный оптиум (МО) достаточно ограничиться применением регулятора тока пропорционального типа (П-РТ) с коэффициентом усиления

$$k_{\text{РТ}} = \frac{T_1 \cdot R_{\text{яц}}}{k_{\text{ТПВ}} \cdot k_{\text{Г}} \cdot k_{\text{Т}} \cdot a_{\text{Т}} \cdot T_{\text{мт}}} = \frac{0.899 \cdot 0.1027}{77.184 \cdot 12.57 \cdot 0.0105 \cdot 2 \cdot 0.0323} = 0.1403,$$

где $k_{\text{Т}}$ – коэффициент обратной связи по току

$$k_{\text{Т}} = \frac{U_{\text{зт.макс}}}{I_{\text{эп.макс}}} = \frac{10}{954} = 0.0105 \text{ В/А},$$

где $I_{\text{эп.макс}} = 2 \cdot I_{\text{Г.н}} = 2 \cdot 477 = 954 \text{ А}$;

$a_{\text{Т}} = 2$ – коэффициент оптимизации на МО;

$$T_{\text{мт}} = T_{\text{ТПВ}} + T_2 + T_{\text{яц}} = 0.005 + 0.0101 + 0.0172 = 0.0323 \text{ с}$$

Эквивалентная постоянная времени оптимизированного контура равна

$$T_{\text{Т}} = 2 \cdot T_{\text{мт}} \left(1 - \frac{T_{\text{мт}}}{T_1 + 2 \cdot T_{\text{мт}}} \right) = 2 \cdot 0.0323 \left(1 - \frac{0.0323}{0.899 + 2 \cdot 0.0323} \right) = 0.062 \text{ с}.$$

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока в рабочих режимах определяется отношением

$$\frac{T_{\text{м.макс}}}{T_{\text{Т}}} = \frac{0.179}{0.062} = 2.89.$$

Для исключения влияния ЭДС двигателя на работу контура это отношение должно быть >1 . В нашем случае это отношение чуть больше 1, что говорит о небольшом влиянии ЭДС двигателя на процессы в контуре тока.

Коэффициент обратной связи в контуре тока найдем по формуле

$$k_{\text{от}} = \frac{k_{\text{Г}}}{k_{\text{дт}}} = \frac{0.0105}{0.0084} = 1.253,$$

где $k_{\text{дт}} = 0,0084$ – коэффициент передачи датчика тока.

Передаточная функция замкнутого контура тока имеет вид

$$W(p)_{\text{замкн.}} = \frac{1/K_T}{2 \cdot T_{\mu\tau}^2 p^2 + 2 \cdot T_{\mu\tau} p + 1} = \frac{1/0.0105}{2 \cdot 0.0323^2 p^2 + 2 \cdot 0.0323 p + 1} =$$

$$= \frac{95.24}{0.00209 p^2 + 0.0646 p + 1}.$$

9.2 Оптимизация контура напряжения в двухконтурной САУ электропривода по схеме ТПВ – Г – Д

Структурная схема контура напряжения приведена на рисунке 14.

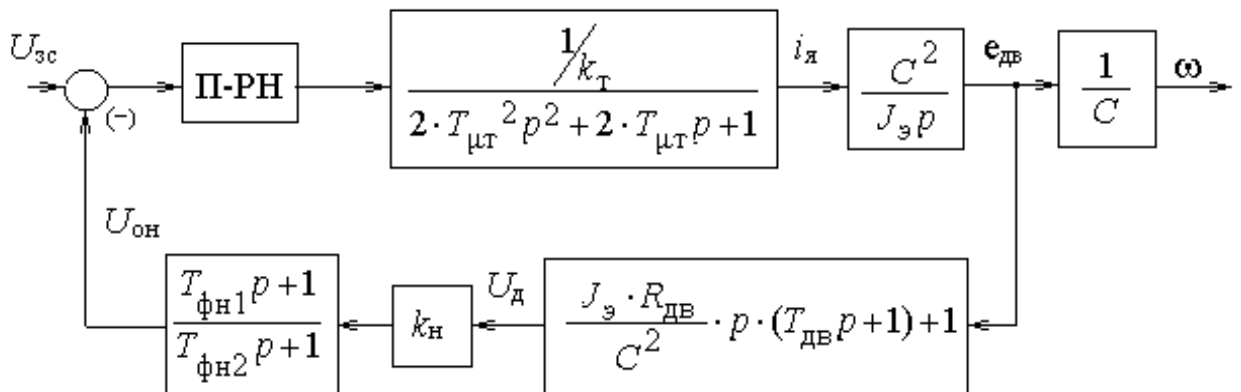


Рисунок 14. Структурная схема контура напряжения.

Контур включает в себя передаточную функцию оптимизированного замкнутого контура тока, полученную экспериментально на имитационной модели. Для оптимизации контура напряжения на МО выбираем П-РН с коэффициентом усиления

$$k_{\text{РН}} = \frac{k_T}{R_{\text{дв}} \cdot k_H \cdot T_{\text{он}}} = \frac{0.0105}{0.0231 \cdot 0.0227 \cdot 0.069} = 290.2,$$

$$\text{где } T_{\text{он}} \leq \frac{0.1 \cdot U_{\text{дв.н}} \cdot J_{\text{э}}}{C^2 \cdot I_{\text{дв.н}}} = \frac{0.1 \cdot 440 \cdot 22.82}{5.461^2 \cdot 490} = 0.069,$$

принимаем $T_{\text{он}} = 0.069$;

k_H – коэффициент обратной связи по напряжению

$$k_{\text{н}} = \frac{U_{\text{з.н.}}}{U_{\text{дв.н}}} = \frac{10}{440} = 0.0227$$

Коэффициент передачи датчика напряжения

$$k_{\text{дн}} = \frac{10}{U_{\text{дв.макс}}} = \frac{10}{440} = 0.0227$$

Коэффициент обратной связи по напряжению

$$k_{\text{он}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{дн}}} = \frac{0.0227}{0.0227} = 1$$

Передаточная функция замкнутого контура напряжения, записанная относительно угловой скорости вращения ω , имеет вид

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{зам}} &= \frac{\frac{1}{k_{\text{н}} \cdot C}}{2T_{\mu\text{н}}^2 p^2 + 2T_{\mu\text{н}} p + 1} = \frac{\frac{1}{0.0227 \cdot 5.461}}{2 \cdot 0.0323^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0.0323 \cdot p + 1} = \\ &= \frac{8.07}{0.00209 \cdot p^2 + 0.0646 \cdot p + 1} \end{aligned}$$

где $T_{\mu\text{н}} = 2 \cdot T_{\mu\text{т}} = 2 \cdot 0.0323 = 0.0646$ с – малая постоянная контура.

Параметры элементов звеньев структурной схемы САУ ЭП напора приведены в таблице 8.

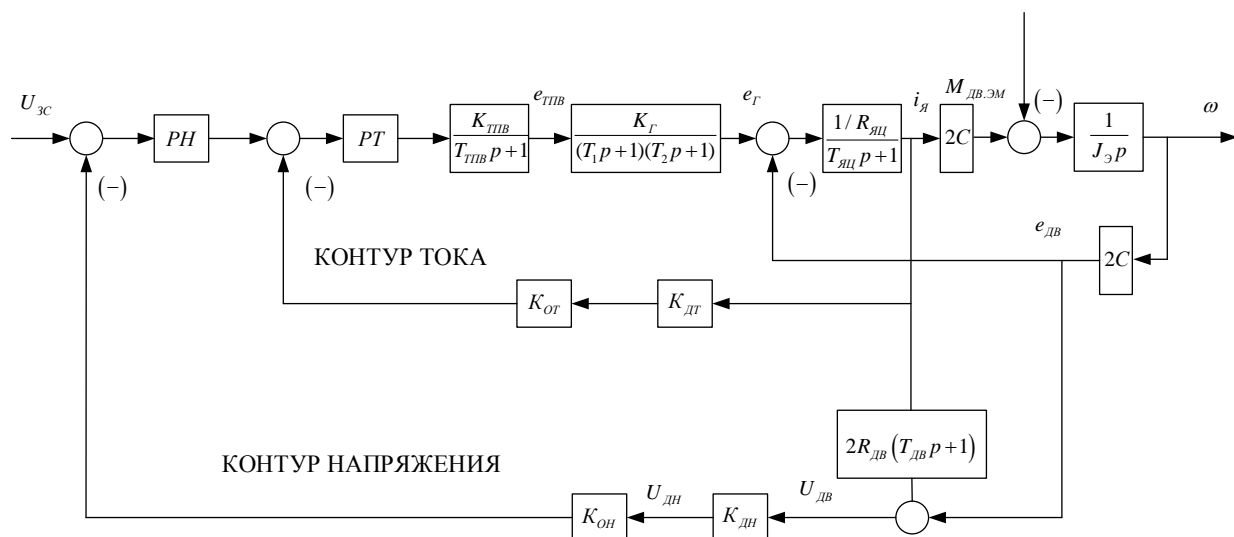


Рисунок 15. Структурная схема линейризованой САУ

Таблица 8

$K_{рн}/K_{рн.макс}$	K_n	$K_{дн}$	$K_{он}$	$K_{рт}$	K_t
7.94/10*	0.0227	0.0227	1	0.1403	0.0105
$K_{дт}$	$K_{от}$	$K_{тпв}$	$T_{тпв}$	$R_{цвг}, Ом$	$L_{цвг}, Гн$
0.0084	1	77.184	0.005	3.3956	1.5884
$T_1, с$	$T_2, с$	$(T_{тпв}+T_2), с$	$R_{яц}, Ом$	$R_{дв}, Ом$	$L_{яц}, м·Гн$
0.899	0.0101	0,0151	0.1027	0.0167	0.00177
$L_{дв}, м·Гн$	$T_{дв}, с$	$T_{зис}$	$K_{г.ср}$	C	$E_{тпв.макс}, В$
0.00114	0.0494	> 1с	10.07	5.461	257.4
$T_{яц}, с$	$J_{э.макс}, кг·м^2$	$J_{э.мин}, кг·м^2$	$M_{н.коп}, Н·м$	$M_{н.гр}, Н·м$	$M_{нагр}, Н·м$
0.0172	22.82	21.04	12400	353	2353

9.3 Настройка САУ электропривода напора на имитационной модели

Моделирование электропривода напора производилось в программной среде MATLAB в соответствии со структурной схемой нелинейной САУ электропривода механизма напора. На рисунке 16 приведена схема имитационной модели экскаваторной механической характеристики, на рисунке 17 график имитационной экскаваторной механической характеристики.

Схема имитационной модели приведена на рисунке 18.

При имитационных исследованиях электропривода на модели был внесен ряд изменений в настройку САУ электропривода. Установлено, что для увеличения жесткости статической характеристики привода на рабочем участке возможно повышение коэффициента усиления регулятора напряжения до значения $k_{рн}=10$. Для увеличения быстродействия контура тока при отработке возмущающего воздействия по нагрузке возможно повышение коэффициента усиления регулятора тока до значения $k_{рт}=5$. Эти эффекты достигаются введением корректирующих фильтров в цепи обратных связей по току и напряжению.

Для оптимизации переходных процессов по управлению и повышению плавности работы привода на входе контура напряжения установлен задатчик интенсивности скорости (ЗИ). Постоянная времени ЗИ не должна выбираться менее 1с.

9.4 Исследование электропривода напора на имитационной модели

Исследования проводились с целью определения работоспособности привода и получения показателей качества работы в основных режимах работы:

- пуск привода при разных значениях управления и различной по величине и характеру нагрузки;

Для этой цели были сформированы взаимосвязанные графики изменения управления на входе электропривода и момента полезной нагрузки, имитирующие следующий цикл работы привода напора:

«начало копания со стопорением механизма из-за перегрузки –отрыв ковша с изменением характера нагрузки с реактивного на активный — удержание ковша в верхнем положении» .

Результаты исследований в виде графиков зависимостей тока $i_a(t)$, момента $M_{дв}(t)$ и скорости $\omega(t)$ двигателя приведены на рисунке 19. Из приведенных графиков следует:

- с линейным задатчиком интенсивности на входе контура скорости переходные процессы в электроприводе напора протекают плавно с ограниченным значением ускорения;

- переходные процессы по скорости монотонные, перерегулирование $\sigma = 0\%$, время переходного процесса определяется постоянной времени задатчика скорости;

- электропривод представляет собой статическую систему, ошибка по скорости зависит от нагрузки, диапазон регулирования по скорости не менее 10;

- удовлетворительные переходные процессы в САУ электропривода, выполненного по системе Г-Д, могут быть получены только при введении корректирующих фильтров в цепи обратных связей.

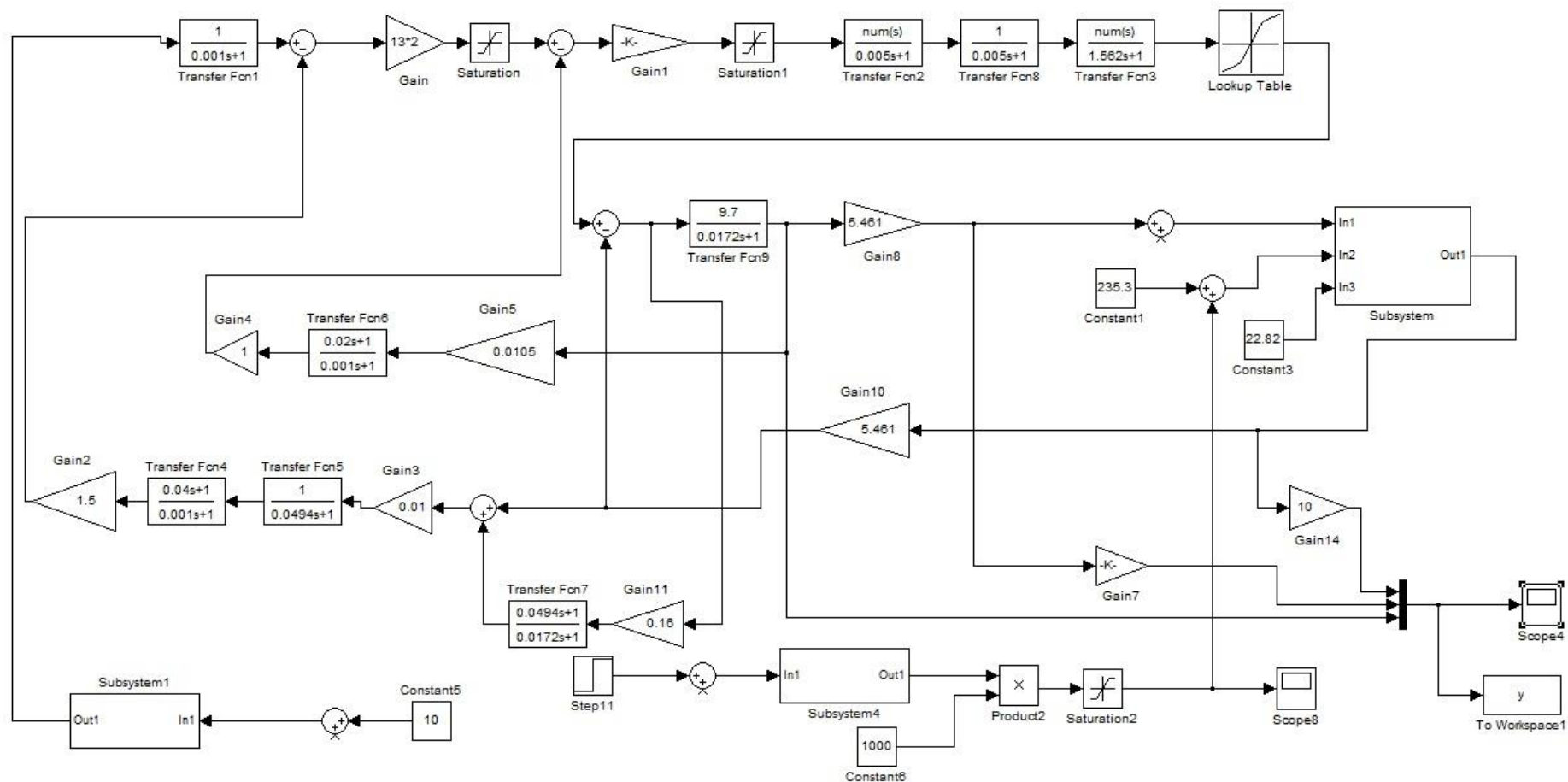


Рисунок 16. Имитационная модель экскаваторной механической характеристики

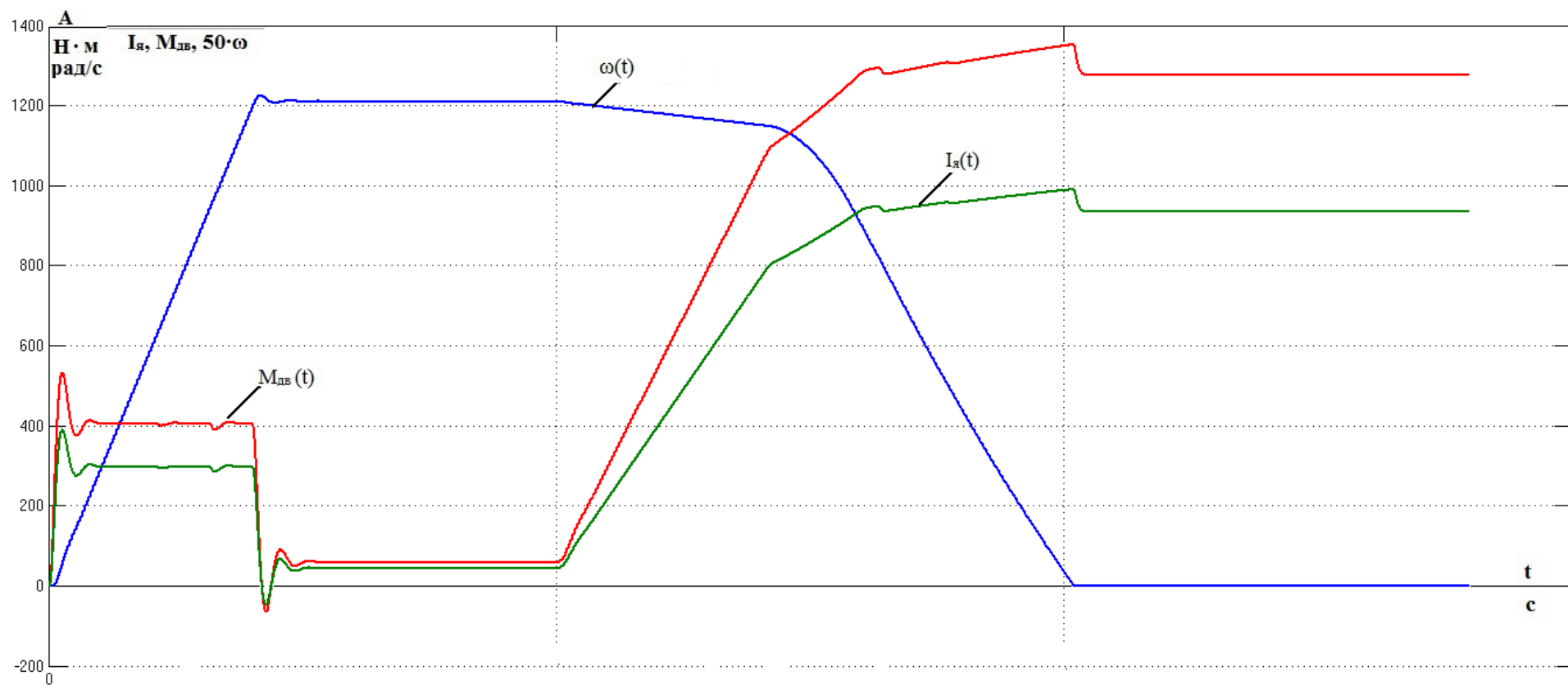


Рисунок 17. Имитационная экскаваторная механическая характеристика

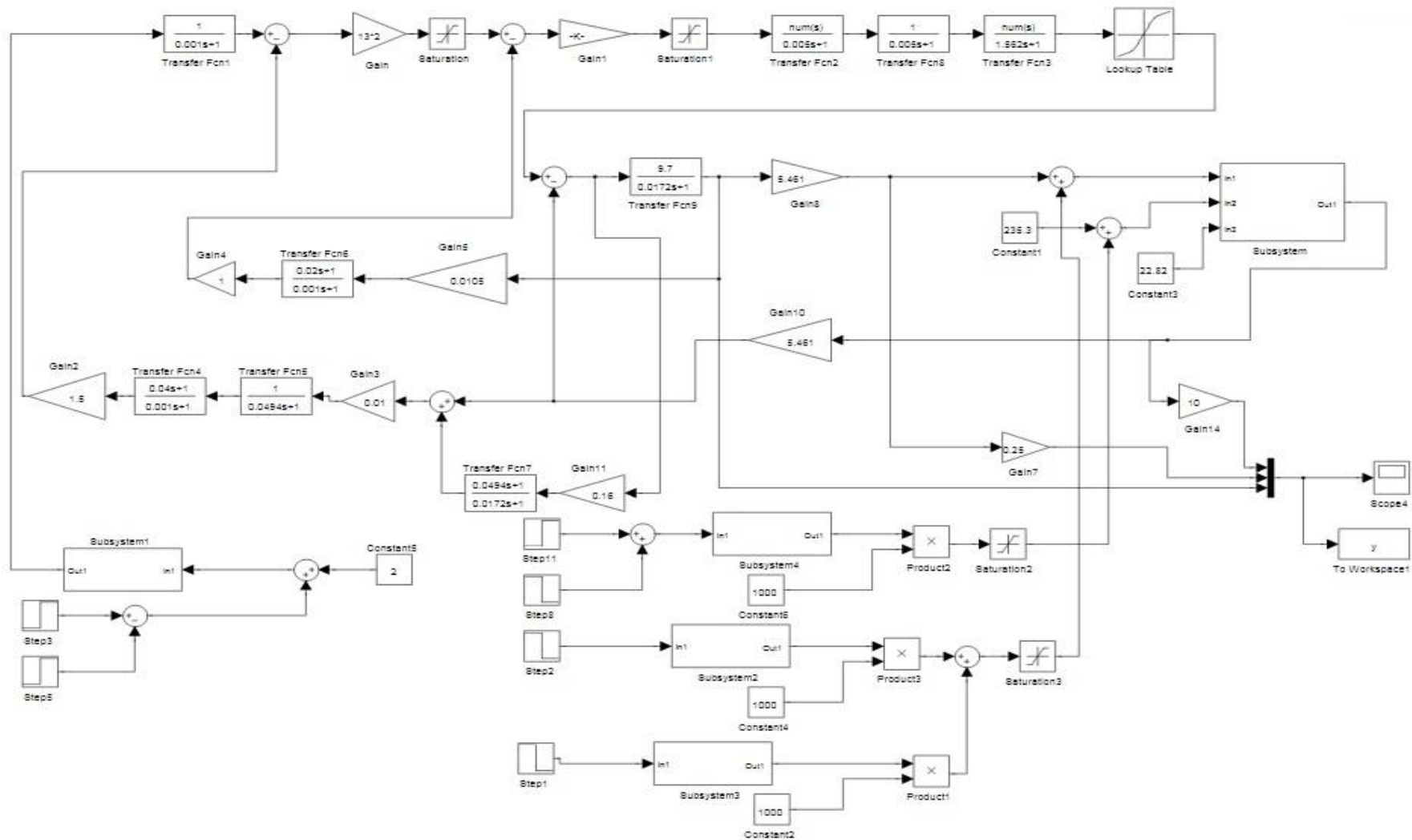


Рисунок 18. Имитационная модель нелинейной САУ электропривода напора с ОМС

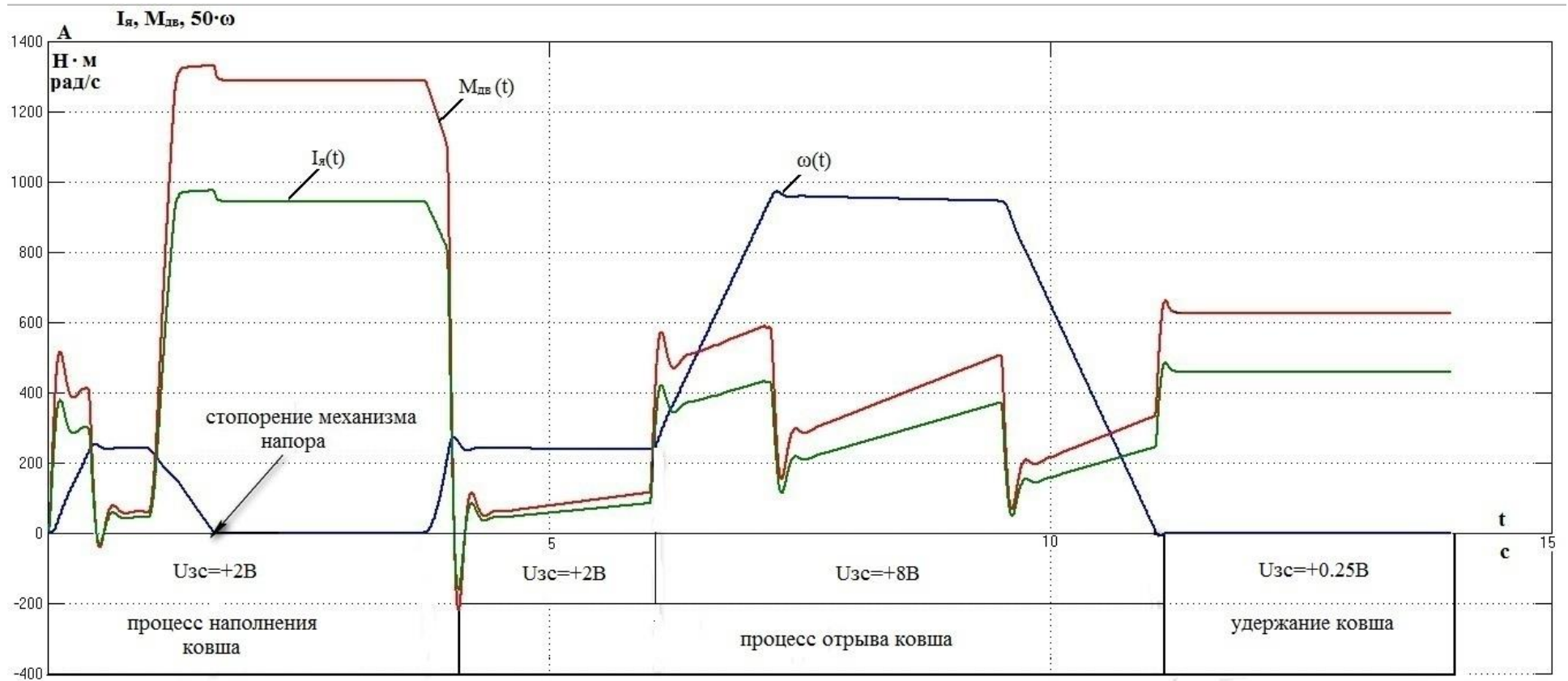


Рисунок 19 - Имитационный цикл работы электропривода механизма напора

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Хаитов Шавкат Дониёр угли

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов проектных и пуско-наладочных работ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Система технического обслуживания и ремонта электрооборудования
2. График планово-предупредительных ремонтов
3. Структура монтажно-наладочных работ
4. Определение затрат на приобретение и монтаж электрооборудования
5. Определение стоимости ПНР
6. Расчет расходов при эксплуатации электропривода
7. Расчет амортизационных отчислений

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей)

Круговая диаграмма капитальных затрат на реализацию проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
--------	-----	---------	------

10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Переход к рыночной экономике требует от предприятия повышения эффективности производства, конкурентоспособности продукции и услуг на основе внедрения достижений научно технического прогресса, эффективных форм хозяйствования и управления производством. Быстрое обновление технологии и продукции в современных условиях требует гибкости, постоянной модернизации производства, экономического механизма управления проектом, которые бы обеспечили целостный подход, координацию и воздействие на всех этапах цикла между заказчиком, проектировщиком и производителем.

В данном разделе выпускной квалификационной работы рассматривается комплекс работ, которые необходимо провести, чтобы ввести в эксплуатацию электропривод напора экскаватора карьерного гусеничного ЭКГ – 15.

Технико – экономические показатели и надежность работы электропривода напора во многом зависят от автоматизации и качества проведения пусконаладочных работ (ПНР), которые также включают в себя и монтаж оборудования.

10.1 Организация и планирование ПНР

Электромонтажные работы подразделяются на работу по монтажу следующих видов электроустановок:

- распределительных устройств и подстанций;
- силового электрооборудования.

Силовое оборудование включает в себя крупные электрические машины, генераторы и агрегаты, пульты, щиты, пускорегулирующая аппаратура.

В данной ВКР организационно – плановые мероприятия при выполнении ПНР предусматривает осуществление в соответствии с типовыми нормами их проведения. Основное влияние на нормативное время проведения ПНР и, соответственно, стоимость оказывает технико – производственная характеристика, степень сложности, уровень технической подготовки персонала занимающегося ПНР, их техническим оснащением и квалификацией. Норма проведения ПНР подразумевает выполнение работ специально подготовленным в области электромонтажных работ персоналом.

Пуско-наладочные работы являются основным звеном подготовки оборудования к эксплуатации и требуют к себе особого отношения на всех этапах его проведения. От качества проведения ПНР в дальнейшем будет зависеть надёжность всего механизма напора. Состав ПНР определяется исходя из комплекта электропривода механизма напора. Конструктивно электропривод состоит из:

- генератора постоянного тока;
- электродвигателя постоянного тока;
- трансформатора;
- силового блока с автоматическими выключателями;
- блока управления и регулирования;
- блока релейно-контактной аппаратуры.

Целью ПНР является доведение электропривода механизма напора до требований, предъявляемых технологическим процессом.

Бригада наладчиков является специализированной бригадой. Состав и численность бригады определяется исходя из квалификации работников, а также сроков выполнения ПНР. В данном случае бригада состоит из 4-х человек: инженер наладчик первой категории; электромонтер пятого разряда; электромонтер пятого разряда; электромонтер четвертого разряда.

Полный комплекс ПНР и последовательность их выполнения представлены в таблице 9. Исходя из общей сложности пуско-наладочных работ, ОТиЗ предприятия предоставил нормы трудоёмкости в часах. В таблице в графе трудоёмкость каждый исполнитель отработал указанное время.

Таблица 9 – Полный комплекс ПНР и последовательность их выполнения

Наименование работ	Исполнитель	Трудоёмкость, часах
1.Подготовительный этап:		
1) Ознакомление с проектом электропривода, выявление неточностей;	1,2,3,4	4
2) Составление рабочего графика проведения ПНР и согласование его с предприятием;	1,2,3,4	3
Подготовка аппаратуры и инструмента;	1,2,3,4	4
Внешний осмотр электрооборудования и подготовка готовности;	1,2,3,4	2
Определения соответствия технических характеристик, установленного оборудования;	1,2,3,4	5
Составление рабочей программы испытаний, наладки с учетом особенностей объекта.	1,2,3,4	2
Итого по п. 1		20
2. Проверочные работы:		
Проверка количества электромонтажных работ и их соответствие рабочим чертежам проекта;	1,2,3,4	5
Проверка установленной аппаратуры и снятие в необходимых случаях характеристик;	1,2,3,4	12
Проверка правильности выполнения схем;	1,2,3,4	14
Проверка и настройка работы электрических систем дистанционного управления.	1,2,3,4	9
Итого по п. 2		40

3.Наладочные работы: Проверка работы и функционирования блоков сигнализации и защиты; Наладка и настройка СИФУ; Фазировка трансформатора опорных напряжений;	1,2,3,4 1,2,3,4 1,2,3,4	9 11
Проверка чувствительности датчиков;	1,2,3,4	8
Проверка узла переключения напряжений преобразователя;	1,2,3,4	8
Наладка устройства задания ЭДС;	1,2,3,4	12
Проверка изменения диапазона в преобразователях; Наладка и настройка СИФУ; Окончательная проверка и наладка защиты и блокировок;	1,2,3,4 1,2,3,4 1,2,3,4	8 16 7
Снятие необходимых характеристик;	1,2,3,4	17
Испытание и настройка оборудования в холостую и под нагрузкой.	1,2,3,4	4
Итого по п. 3		100
4.Комплексное опробование: Обеспечение взаимных связей устройства в составе электрической установки и механизмов; Согласование входных и выходных параметров на входе и на выходе характеристик отдельных механизмов; Проверка режимов работы электропривода механизма тяги;	1,2,3,4 1,2,3,4 1,2,3,4	6 20 4
Итого по п. 4		30
5.Оформление документации: Составление протоколов ПНР; Внесение в один экземпляр принципиальных схем проекта и изменений, внесенных во время ПНР; Нормы проведения ПНР электропривода механизма тяги;	1 1 1	3 5 2
Итого по п. 5		10
Итого по всем этапам		200
*) Примечание. Исполнители: 1-инженер наладчик первой категории; 2- электромонтер пятого разряда; 3-электромонтер пятого разряда; 4- электромонтер четвертого разряда		

По результатам таблицы 9 строим линейный график планирования этапов ПНР

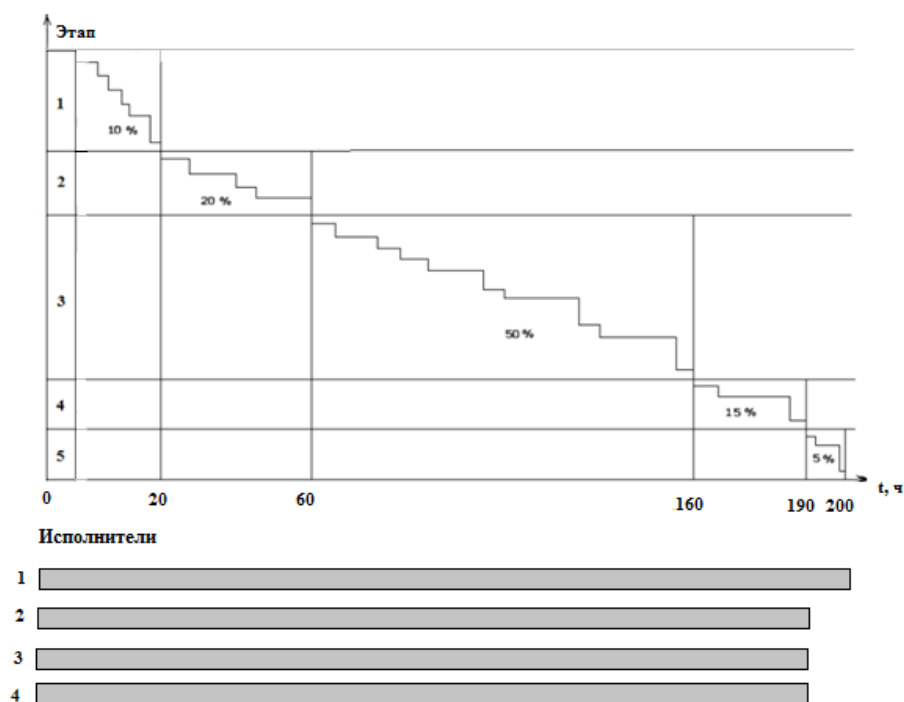


Рисунок 16 – Линейный график планирования этапов ПНР

Таким образом из графика видно, что инженер наладчик первой категории отработал все пять этапов пуско-наладочных работ, что составило 200 часов, а три других исполнителя отработали четыре этапа по 190 часов.

10.2 Определение стоимости пуско-наладочных работ

При наладке оборудования применяется повременная оплата труда. Бригада наладчиков работает по восемь часов в день. При такой системе заработная плата работников определяется фактически отработанным временем. При выполнении работ в условиях, отличных от нормальных, к заработной плате применяются коэффициенты.

Основная заработная плата бригады

$$З_{\text{дн}} = N \cdot T \cdot K_{\text{и}} \cdot K_{\text{р}},$$

где N – трудоемкость работ, руб.;

T – тарифная ставка, руб/час;

K_p – 1.3 районный коэффициент;

$K_{и}$ – 1.3 коэффициент проведения работ вблизи действующих электроустановок, находящихся под напряжением.

Продолжительность проведения пусконаладочных работ определяется, исходя из профессионального опыта бригады и проведения аналогичных видов работ.

Затраты на основную заработную плату представлены в таблице 10.

Таблица 10 - Затраты на основную заработную плату

Состав бригады	Разряд, квалификация	Тарифная ставка, руб/час	Трудоемкость, час	Основная заработная плата, руб.
Инженер-наладчик	Инженер I категории	150	200	50000
Электромонтёр	5 разряд	100	190	32500
Электромонтёр	5 разряд	100	190	32500
Электромонтёр	4 разряд	70	190	23600
Итого				138600

Дополнительная заработная плата наладчиков составляет 15% от основной

$$ЗП_{\text{доп}} = 0,15 \cdot ЗП_{\text{осн}} = 20800 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды в РФ составляют 30 % от основной и дополнительной заработной платы.

$$C_{\text{сн}} = 0,30 \cdot (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) = 0,30 \cdot (138600 + 20800) = 47800 \text{ руб.}$$

Накладные расходы (тепло и водоснабжение, электроэнергия) при производстве пуско-наладочных работ составляют 40 % от суммы. Накладные расходы предоставил экономико - плановый отдел предприятия.

$$N_p = 0,4 \cdot 3P_{\text{осн}} = 0,4 \cdot 138600 = 55000 \text{ руб.}$$

В таблице 11 приведена стоимость основного оборудования, цены указаны без НДС.

Таблица 11 – Стоимость оборудования

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
ДЭ-816	1 шт.	864638	864638
Комплектный тиристорный привод КТУ – К18- УХЛ1	1 шт.	296610	296610
ИТОГО			1161248

В таблице 12 представлена смета затрат на пуско-наладочные работы.

Таблица 12 – Смета затрат на пуско-наладочные работы

№ п/п	Наименование статьи расходов	Сумма, тыс. руб.	Удельный вес затрат, %
1.	Затраты на оборудование	1161.2	81.5
2.	Затраты связанные с ПНР		
2.1.	Полная заработная плата	159.4	11.2
2.2.	Отчисление в социальные фонды	47.8	3.4
2.3.	Накладные расходы	55.0	3.9
3.	Итого затрат	1423.4	100.0

Сумма затрат на пуско-наладочные работы составила 1.4 млн. руб., в том числе затраты на оборудование составили 1.16 млн. руб. или (81.5%)

10.3 Расчет расходов при эксплуатации электропривода

В работе рассчитаны только те эксплуатационные расходы, которые изменяются при внедрении электропривода напора ЭКГ 15. К ним относятся:

- Изменение стоимости силовой электроэнергии

- Изменение амортизационных фондов
- Изменение налога на имущество

10.3.1 Силовая электроэнергия

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}},$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей (0.6–0.7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени (0.6–0.8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{\text{дв}}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

$$W_{\text{сил эн}} = \frac{200 \cdot 3000 \cdot 0.6 \cdot 0.6}{0.9 \cdot 0.92} = 261 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{час}$$

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{\text{эл}} = W_{\text{сил эн}} \cdot C_{\text{э}},$$

где $C_{\text{э}}$ – стоимость одного кВт–часа электроэнергии для промышленных предприятий 3.2 руб.

По предоставленным данным инженера по учету электроэнергии предприятия, затраты на силовую электроэнергию до проведения ПНР в среднем составили 312 тыс. кВт · час. После ввода в эксплуатацию автоматизирован-

ного электропривода напора ЭКГ 15 затраты на силовую электроэнергию будут составлять 261 тыс. кВт · час. Таким образом, экономия электроэнергии составит 51 тыс. кВт · час.

$$C_{\text{эл}} = 51 \cdot 3.2 = 163,2 \text{ тыс. руб./год}$$

10.3.2 Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

$$A_{\text{год}} = K \cdot \frac{H_{\text{А}}}{100},$$

где

K – вложения в электрооборудование

$H_{\text{А}}$ – процент отчислений на реновацию

$$A_{\text{год}} = 1.4 \text{ млн. руб.} \cdot \frac{8}{100} = 112 \text{ тыс. руб. / год}$$

10.3.3 Расчет налога на имущество.

Налог на имущество рассчитывается:

$$H_{\text{им}} = K \cdot \frac{H_{\text{ст}}}{100},$$

где

K – вложения в электрооборудование

$H_{\text{ст}}$ - налоговая ставка на имущество организаций (2.2%)

$$H_{\text{им}} = 1.4 \text{ млн. руб.} \cdot \frac{2.2}{100} = 30.8 \text{ тыс. руб. / год}$$

Таким образом, изменение текущих расходов предприятия в связи с вводом электрооборудования составит:

$$\Delta C = C_{\text{эл}} - A_{\text{год}} - H_{\text{им}}$$

$$\Delta C = 163.2 - 112 - 30.8 = 20.4 \text{ тыс. руб./год}$$

Налог на прибыль:

$$H_{\text{пр}} = \Delta C \cdot A,$$

где A - налоговая ставка на прибыль (20%)

$$H_{\text{пр}} = 20.4 \cdot 0.2 = 4.1 \text{ тыс. руб}$$

Чистая прибыль:

$$Ч_{\text{пр}} = \Delta C - H_{\text{пр}}$$

$$Ч_{\text{пр}} = 20.4 - 4.1 = 16.3 \text{ тыс. руб/год}$$

В экономической части выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы планирования и проведения пуско-наладочных работ электропривода напора ЭКГ 15. Составлена смета на проведение ПНР, построен график проведения ПНР, график занятости исполнителей при выполнении ПНР. При проведении ПНР задействована бригада наладчиков в составе четырех человек (инженер наладчик первой категории, электромонтер пятого разряда, электромонтер пятого разряда, электромонтер четвертого разряда), которые выполняют работу за 25 календарных дней. Сумма затрат на пуско-наладочные работы составит 1.4 млн. руб., в том числе затраты на оборудование 1.16 млн. руб.

Заметим что, эффективная и успешная работа бригады наладчиков зависит от правильного планирования ПНР и бесперебойного материально-технического снабжения, то есть своевременной поставки материалов и инструментов необходимых при проведении работ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Хаитов Шавкат Дониёр угли

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Отделение электро-энергетики и электро-техники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Электрооборудование и электропривод механизма напора экскаватора ЭКГ-15
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	Анализ опасных факторов 1. Механические травмы; 2. Термические травмы (ожоги); 3. Поражения электрическим током. Анализ вредных факторов 1. Повышенный уровень шума; 2. Отклонение параметров микроклимата от допустимых значений; 3. Загрязнение воздушной среды рабочей зоны (запыленность, загазованность).
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	Анализ воздействия на атмосферу: - выбросы загрязняющих веществ, пылеобразование от взрывных работ, погрузочно-разгрузочные работ, от техники с ДВС; Анализ воздействия на гидросферу: - сточные воды. Анализ воздействия на литосферу:

<ul style="list-style-type: none"> – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	- образование отходов, загрязнение почв.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого цеха – пожар. -по необходимо оснащению (первичные средства пожаротушения пожарная сигнализация, система автоматического пожаротушения); -инструкции по пожарной безопасности для работников -план эвакуации работников при пожаре
4. Правовые и организационные вопросы безопасности. <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Разработка организационных мероприятий для безопасной работы электротехнического персонала.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Хаитов Шавкат Дониёр угли		

11 Социальная ответственность

Обеспечение охраны труда и окружающей среды является важнейшим и необходимым условием любого технологического процесса. В горнодобывающей промышленности этому вопросу уделяется особое внимание, что обусловлено наличием множества опасных и вредных факторов при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Разработка месторождений открытым способом ведётся с применением буровзрывных работ, различным механическим и электрическим оборудованием большой мощности. В частности, суммарная мощность электрооборудования одноковшового экскаватора ЭКГ-15 сопоставима с суммарной мощностью электрооборудования среднего производственного предприятия и составляет несколько тысяч киловатт.

Экскаватор ЭКГ-15 – карьерная полноповоротная электрическая лопата на малоопорном гусеничном ходу – предназначен для разработки и погрузки в транспортные средства полезных ископаемых или пород вскрыши на открытых горных работах в чёрной и цветной металлургии, в угольной промышленности, в промышленности строительных материалов, а также для выполнения больших объёмов земляных работ в промышленном строительстве.

Кроме того, тяжёлые климатические и метеорологические условия, в которых работает одноковшовый экскаватор, определяют необходимость создания комфортного микроклимата для обслуживающего персонала.

11.1 Производственная безопасность

Проведем анализ опасных и вредных производственных факторов для персонала .

Опасные факторы:

- поражение электрическим током(напряжение до и выше 1000В);

- механические и термические травмы (взрывные работы).

Вредные факторы:

- неблагоприятные климатические условия;
- запылённость и загазованность воздуха;
- повышенный шум;
- вибрация.

Меры защиты от поражения электрическим током являются[20]:

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением, для случайного прикосновения;
- электрическое разделение сети;
- устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрооборудования экскаватора, путём применения малых напряжений;
- использованием двойной изоляции, защитного заземления,;
- применение специальных электрозащитных средств – переносных приборов и приспособлений;
- организация безопасной эксплуатации электроустановок.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала и с целью предотвращения выхода из строя дорогостоящего оборудования, все работы на борту экскаватора должны выполняться с соблюдением всех технических и организационных мероприятий в соответствии с техникой безопасности.

Основное электрооборудование экскаватора расположено в его кузове, в котором не поддерживается постоянная температура и относительная влажность воздуха. Поэтому работы, проводимые на борту экскаватора по степени тяжести можно отнести к тяжёлым.

В связи с этим необходимо строительство санитарно-бытовых помещений, предназначенных для удовлетворения нужд обслуживающего персонала. Температура, влажность, скорость движения воздуха и содержание вредных

веществ в воздухе санитарно-бытовых помещений нормируются в соответствии с [16].

Таблица 13 – Допустимые параметры микроклимата не рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t° _{опт}	Диапазон выше оптимальных величин t° _{опт}			Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт} "※"
Холодный	III	13,0 - 15,9	18,1 - 21,0	12,0 – 22,0	15 – 75	0,2	0,4
Теплый	III	15,0 - 17,9	20,1 - 26,0	14,0 - 27,0	15 - 75 "※"	0,2	0,5

Состав атмосферы карьера должен отвечать установленным нормативам по содержанию основных частей воздуха и вредных примесей (пыль, газы), с учётом требований указанных в [17].

Во всех карьерах, имеющих источники выделения ядовитых газов (от работы автомобилей, из дренируемых в карьер вод, от взрывных работ и др.) должен производиться отбор проб для анализа воздуха на содержание вредных газов в нём на рабочих местах не реже одного раза в квартал и после каждого измерения технологии работ.

Допуск рабочих и технического персонала в карьер после производства массовых взрывов должен производиться только после проверки и снижения содержания ядовитых газов в атмосфере до санитарных норм.

Запылённость воздуха на рабочих местах не должна превышать ПДК указанных в таблице 14.

Таблица 14 – Предельно – допустимая концентрация веществ

Вещества	ПДК, мг/м ³
Кристаллическая двуокись кремния при содержании её в пыли свыше 70% (кварц, диас и др.)	1
при содержании её в пыли от 10 до 70% (гранит, шамот, слюда-сырец, углеродная пыль)	2
при содержании её в пыли от 2 до 10% (горючиекуперитные сланцы, медно-сульфидные руды, углелепородная и угольная пыль и др.)	4
Природный и искусственный асбест, а также смешанная асбестопородная пыль при содержании в ней асбеста не более 10%	2
Тальк, слюда-флогонит и мусковит	4
Цемент, оливин, анатит, форстерит, глина	6
Каменный уголь с содержанием двуокиси кремния менее 2%	10

Технологическая вибрация, вызванная экскавацией горной массы и работающими на борту экскаватора мощными электроустановками нормируется в соответствии с [19].

Таблица 15 – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Основными методами борьбы с вибрацией электрических машин и оборудования экскаватора являются:

- применение редукторов со специальными видами зацеплений – глобоидными, шевронными и косозубыми, а также подбор зубчатых пар;
- устранение неуравновешенности вращающихся масс путем их балансировки;
- применение упруго-предохранительных муфт для передачи вращающего момента от двигателей к механизмам;
- исключение резонансных режимов работы путем отстройки собственных частот агрегата и его отдельных узлов от частоты вынуждающей силы;
- демпфирование колебаний за счет смазочных материалов (масляные ванны редукторов, смазка рукояти ковша, седлового подшипника и др.);
- динамическое гашение вибрации путем установки агрегатов экскаватора на сварные металлические фундаменты.

11.2 Охрана окружающей среды

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом оказывает негативное влияние на все важнейшие компоненты, составляющие среду обитания человека: атмосферу, гидросферу, литосферу. Влияние это неоднозначно и зависит от множества факторов.

Самыми распространёнными вредными веществами, загрязняющими атмосферу карьера являются:

- оксид углерода CO ;
- диоксид серы SO_2 ;
- оксиды азота NO_x ;
- углеводороды;
- пыль, содержащая в основном кристаллическую двуокись кремния.

Погрузочно-разгрузочные работы сопровождаются значительным выделением пыли. Максимальное количество пыли выделяется при работе экскаваторов, несколько меньшее – при работе бульдозеров. Концентрация пыли при выемочно-погрузочных работах, также как и при буровзрывных, зависит от крепости и естественной влажности горных пород.

На интенсивность пылевыведения оказывают влияние объем одновременно разгружаемой породы, высота разгрузки, угол поворота экскаватора. Так, при высоких забоях чаще происходит обрушение верхней части уступа, что приводит к повышению (в 1,5-5 раз) запыленности. Запыленность воздуха изменяется почти в таких же соотношениях, как и изменение объема одновременно разрушаемой породы. Завышение высоты разгрузки и угла поворота экскаватора ведет к увеличению запыленности воздуха. Работающее на погрузочно-разгрузочных работах оборудование отличается многообразием с широким диапазоном технологических и эксплуатационных качеств. На предприятиях используется оборудование цикличного и непрерывного действия. К основному оборудованию цикличного действия относятся механические лопаты

и бульдозеры. К основным машинам непрерывного действия относятся роторные экскаваторы.

Основными источниками загрязнения атмосферы карьера токсичными веществами являются транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Токсичными выбросами двигателей внутреннего сгорания являются отработавшие и карьерные газы, пары топлива из карбюратора и топливного бака. Основная доля токсичных примесей поступает в атмосферу с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания. С карьерными газами и парами топлива поступает 45% C_nH_m от их общего выброса.

В дизельных двигателях с уменьшением нагрузки состав горючей смеси обедняется, поэтому содержание токсичных компонентов в отработавших газах при малой нагрузке уменьшается. Содержание CO и C_nH_m возрастает при работе в режиме максимальной нагрузки.

На территории промышленных предприятий образуются сточные воды трёх типов:

1. бытовые - сточные воды образуются при экскавации на территории предприятия душевых, туалетов, прачечных и столовых. Предприятие не отвечает за качество данных сточных вод и направляет их на городские (районные) станции очистки [18].
2. поверхностные - сточные воды образуются в результате смывания дождевой, талой и поливочной водой примесей, скапливающихся на территории, крышах и стенах производственных зданий и объектов. Основными примесями этих вод являются твёрдые частицы (песок, камень, стружки и опилки, пыль, сажа и т.п.); нефтепродукты (масла, бензин, керосин и др.), используемые в двигателях транспортных средств и производственных механизмах.
3. производственные - сточные воды образуются в результате использования воды в технологических процессах.

Твёрдые отходы горнодобывающего производства содержат:

- амортизационный лом (модернизация оборудования, оснастки, инструмента);
- стружки и опилки металлов;
- шлаки и шламы горной и вскрышной пород;
- осадки и пыль.

Количество амортизационного лома зависит от намеченного списания в лом изношенного оборудования и имущества, а также от замены отдельных деталей в планово-предупредительном ремонте. Размеры отходов металла в производстве зависят от количества металла и сплавов, подлежащих переработке, и установленного коэффициента отходов [18].

Шлаки и шламы вскрышных пород, а также горных пород с малым содержанием полезных ископаемых разгружаются на специально оборудованные площадки – отвалы. Экскаваторные отвалы проектируются по плану, утверждённому руководством предприятия.

Мероприятия по защите окружающей среды

Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам.

В качестве дополнительных средств защиты применяют: аппараты и системы очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей; глушители шума; виброизоляторы технологического оборудования и др.

Важная роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленного предприятия с учётом топографии местности и розы ветров; установление санитарно-защитных зон вокруг промышленного предприятия; организация движения транспорта с целью уменьшения выброса токсичных веществ.

В охране окружающей среды необходимы службы контроля качества окружающей среды, которые должны вести систематизированные наблюдения за состоянием атмосферы, воды и почвы для получения фактических уровней загрязнения окружающей среды. Полученная информация о загрязнениях позволяет быстро выявлять причины повышения концентраций вредных веществ и активно их устранять.

11.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожары на предприятиях представляют большую опасность для работающих и могут причинить огромный материальный ущерб. Вопросы обеспечения пожарной безопасности на открытых горных разработках имеют большое значение и регламентируются требованиями, указанными в [22].

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики и активной пожарной защиты. Пожарная профилактика включает комплекс мероприятий необходимых для предупреждения возникновения пожара или уменьшения его последствий. Под активной пожарной защитой понимаются меры, обеспечивающие успешную борьбу с возникающими пожарами или взрывоопасной ситуацией.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные. Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин, противопожарный инструктаж рабочих, организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

К техническим мероприятиям относятся соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании экскаватора, при устройстве его электропроводов и оборудования, отопления кабины машиниста, освещения, правильное размещение оборудования.

Мероприятия режимного характера – это запрещение курения в не установленных местах, производства сварочных и других огневых работ в условиях пожарной опасности и т.д.

Эксплуатационными мероприятиями являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования экскаватора. Соблюдение правил пожарной безопасности является важным условием нормальной эксплуатации одноковшового экскаватора ЭКГ-15. В соответствии с [22] поворотную платформу экскаватора можно отнести к помещениям с производством категории Д.

Основной причиной пожара технического характера может быть неисправность электрооборудования экскаватора (короткое замыкание, перегрузки, большие переходные сопротивления и т.д.). Поэтому, необходимо уделять особое внимание к эксплуатационным мероприятиям по пожарной профилактике.

Для обеспечения активной пожарной безопасности на борту экскаватора ЭКГ-15 предусмотрены:

- ручные огнетушители типа ОУ-2А (ОУ-5, ОУ-8) или порошковые заряженные составами МГС и ПХ;
- ящики с песком;
- багры и лопаты с деревянными ручками.

В кузове экскаватора также предусмотрены специальные металлические ящики, в которых должны храниться все смазочные и обтирочные материалы.

11.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Какие сферы деятельности и специальности связаны с вредными условиями труда, указывается в постановлении РФ, должности с вредными условиями

труда в нефтяной промышленности и строительстве, на меры социальной поддержки, Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда» [38].

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций».

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Эффективная социальная политика и ответственные, партнерские отношения со своими работниками, являются важнейшими факторами долгосрочного устойчивого развития компании. Максимальная безопасность производства и забота о благосостоянии сотрудников были и остаются основными составляющими социальных программ.

Заключение

Целью данного дипломного проекта являлось проектирование и разработка электропривода механизма напора экскаватора карьерного гусеничного ЭКГ-15.

В результате выполненного проекта, спроектирован электропривод полностью отвечающий техническому заданию и всем указанным выше особенностям. Разработанный электропривод механизма напора одноковшового экскаватора ЭКГ-15 полностью удовлетворяет всем техническим требованиям и особенностям технологического процесса.

В систему автоматического управления электроприводом напора входят электродвигательная, преобразовательная, передаточная и управляющая системы, вместе представляющие сложную электромеханическую структуру. Кроме того, на характер работы этой системы оказывает существенное влияние специфика горного производства, что дополнительно предъявляет целый ряд требований к системе электропривода механизма напора.

Применение данной структуры с П-регуляторами позволило получить семейство экскаваторных характеристик с возможностью настройки коэффициента заполнения и коэффициента осечки.

В результате оптимизации линеаризованной САУ РЭП была получена статическая система с оптимальными параметрами корректирующих цепей. Показатели переходных процессов, полученные с помощью численного моделирования на ЭВМ близки к показателям системы, настроенной на модульный оптимум.

Электропривод напора обеспечивает работу в повторно-кратковременном режиме с резко-переменной нагрузкой; минимальное время реверсирования и достаточно широкий диапазон регулирования.

В ходе проделанной работы был проведён выбор по роду тока и мощности электродвигателя, генератора и возбудителя генератора. Разработаны

функциональная, принципиальная и структурная схемы регулирования скорости подъёма ковша. Показано, что наиболее полно удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к электроприводу напора механизма ковша экскаватора, является двухконтурная система подчинённого регулирования с внутренним контуром тока и внешним контуром напряжения.

Кроме того, электропривод механизма напора снабжен системой защиты и сигнализации, обеспечивающей безаварийную и безопасную работу экскаватора.

Conclusion

The purpose of this diploma project was the design and development of the electric drive mechanism for the head of the excavator of the caterpillar caterpillar ECG-15.

As a result of the completed project, the electric drive is completely designed to meet the technical requirements and all the above-mentioned features. The developed electric drive mechanism of the pressure of the one-bucket excavator ECG-15 completely satisfies all technical requirements and special features of the technological process.

The automatic control system of the electric drive of the head includes the electric motor, converter, transfer and control systems, which together represent a complex electromechanical structure. In addition, the nature of the operation of this system has a significant impact on the specifics of mining, which additionally presents a number of requirements for the drive system of the drive mechanism.

The use of this structure with P-regulators made it possible to obtain a series of excavating characteristics with the possibility of adjusting the fill factor and the misfire factor.

As a result of optimization of the linearized automatic control system, a static system with optimal parameters of corrective circuits was obtained. Pokazateli transients, obtained with the help of numerical modeling on computers are close to the indicators of the system tuned to the module-the optimal optimum.

The electric drive of a pressure provides work in repeatedly-short-term mode with sharply variable load; minimum reversal time and a sufficiently wide range of regulation.

In the course of the work done, a choice was made according to the type of current and power of the electric motor, generator and exciter of the generator. A functional, principal and structural scheme for regulating the speed of lifting the bucket has been developed. It is shown that the most fully satisfying requirements imposed on the electric drive of the bucket of the excavator bucket mechanism is a

two-loop subordinate control system with an internal current loop and an external voltage circuit.

In addition, the electric drive of the pressure mechanism is equipped with a system of protection and signaling that ensures trouble-free and safe operation of the excavator.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Техническая документация ОАО «Алмалыкский ГМК» рудник «Кальмакыр».
2. Производственный паспорт ОАО «Алмалыкский ГМК».
3. Рязяев С., Алмалыкский горно-металлургический – 2006 г.
4. Гурин В. Д. Как это было // Горный вестник.- 2003г.- №4.- с.18-26.
5. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 416 с.
6. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под редакцией Елисеева В. А. и А. В. Шинянского . – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616с.
7. Глушко В.В. Характеристики режимов работы горных машин. М. Недра 1973г-223стр.
8. Егурнов Г.П., Рейш А.К. Одноковшовые экскаваторы. М. Недра 1965г-465стр.
9. Зюзин А.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.; Высшая школа, 1980г-367стр.
10. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие по курсовому проектированию. Томск ТПУ, 1991г-104стр.
11. Козин В. М., Марченко Я.Е. Управляющие устройства тиристорных преобразователей для электроприводов постоянного тока. Учебное пособие для ВУЗОВ. М: «Энергия» 1981г.-86стр.
12. Солод В.И., Зайков В. И. Горные машины и автоматизированные комплексы. М. Недра, 1981г-501стр.
13. Панкратов С.А. Динамика машин для открытых горных и земляных работ. М. Машиностроение. 1967г-446стр.

14. Организация и планирование производства: Методическое указание по экономическому обоснованию дипломных проектов студентов специальностей 0628 Электрический привод и автоматизация промышленных установок. В. Н. Дорман / Магнитогорск: МГМИ, 1988г-46стр.

15. Ценник на монтаж оборудования №8.

16. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ Общие санитарные требования к воздуху рабочей зоны.

17. ГОСТ 12.1.007-76. ССБТ Вредные вещества и их классификация

18. СНиП 11-33-75. Загрязнение сточных вод. Загрязнение почвы.

19. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ Шум. Общие требования безопасности

20. ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ. Система стандартов безопасности труда

21. СНиП 11-4-79. Естественное и искусственное освещение

22. Правила пожарной безопасности